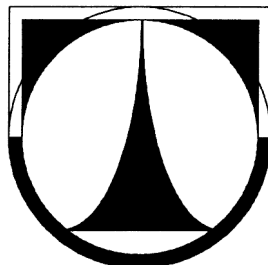


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra vozidel a motorů



**ZAŘÍZENÍ KE ZJIŠŤOVÁNÍ VZNĚTLIVOSTI**

**MOTOROVÝCH PALIV**

**APPLIANCE FOR DETECTING OF INFLAMMABILITY**

**ENGINE FUEL**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

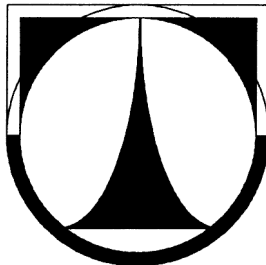
Jan Auer

Květen 2007

**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

**FAKULTA STROJNÍ**

Katedra vozidel a motorů



Obor 23 – 17 – 8

Konstrukce strojů a zařízení

Zaměření

Pístové spalovací motory

**ZAŘÍZENÍ KE ZJIŠŤOVÁNÍ VZNĚTLIVOSTI MOTOROVÝCH  
PALIV**

**APPLIANCE FOR DETECTING OF INFLAMMABILITY ENGINE  
FUEL**

Diplomová práce

KVM – DP – 483

Bc. Jan Auer

Vedoucí diplomové práce: Doc. Ing. Josef Laurin, CSc.

Konzultant diplomové práce: Prof. Ing. Stanislav Beroun, CSc.

Počet stran : 42

Počet obrázků : 31

Počet příloh : 4

Počet výkresů : 28

Květen 2007

**Místo pro vložení originálního zadání DP (BP)**

## **Zařízení ke zjišťování vznětlivosti motorových paliv**

### **Anotace:**

Diplomová práce se zabývá možnostmi určování vznětlivosti motorových paliv, cetanového čísla. Popisuje průběh vznícení a hoření paliva ve válci motoru, charakterizuje způsoby zjišťování cetanového čísla a řeší návrh mechanické části laboratorního zařízení.

Přílohou diplomové práce je výkresová dokumentace potřebná k výrobě funkčního vzorku navrhovaného zařízení.

Klíčová slova: měření, cetanové číslo, zařízení, paliva

## **Appliance for detecting of inflammability engine fuel**

### **Annotation:**

This Diploma Thesis deals with possibilities of the determination of the engine fuel inflammability, cetane number. It describes the process of ignition and burning of fuel in the engine cylinder. It characterises the means of the cetane number detection and solves the proposal of the mechanical parts of the laborator appliance.

The supplement of this Diploma Thesis includes graphical documentation that is needed for the production of functional sample of suggested appliance.

Key words: measure, cetan number, appliance, fuel

Desetinné třídění:

Zpracovatel:

TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra strojů průmyslové dopravy

Dokončeno :

2007

Archivní označení zprávy:

Počet stran: 42

Počet obrázků: 31

Počet příloh: 4

Počet výkresů: 28

## Prohlášení k využívání výsledků diplomové práce

Byl(a) jsem seznámen(a) s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. O právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom(a) povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval(a) samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V ..... dne .....

.....

podpis

## Poděkování

Na tomto místě bych chtěl poděkovat svému vedoucímu diplomové práce  
Doc. Ing. Josefu Laurinovi, CSc. a konzultantovi Prof. Ing. Stanislavu Berounovi, CSc,  
za jejich čas, odbornou pomoc, připomínky a cenné rady.

## Seznam symbolů a jednotek

$\tau$	- průtah vznícení (zážehu), tzv. indukční doba rozběhu oxidačních reakcí	[ms]
$p$	- tlak hořlavé směsi	[Pa]
$n$	- řád reakce, obvykle $1 < n < 2$	[-]
$E_A$	- aktivační energie	[J/mol]
$R$	- univerzální plynová konstanta	[J/mol.K]
$T_Z$	- teplota směsi	[°K]
$w_x$	- přivedené teplo v místě $\alpha_x$ pracovního oběhu	[J/1°KH]
$Q_{hoř}$	- celkové přivedené teplo do oběhu	[J]
$\alpha_{hoř}$	- celková doba hoření směsi ve válci	[°KH]
$C$	- konstanta, určená podle definovaného konce hoření	[-]
$m$	- parametr hoření určený podle charakteru spalovacího procesu	[-]
$CC$	- cetanové číslo	[-]
$OC$	- oktanové číslo	[-]
$CI$	- cetanový index	[-]
$D$	- hustota vzorku při 15° C vyjádřená v	[g/cm <sup>3</sup> ]
$T$	- teplota, při které predestiluje 50 % obj. vzorku	[°C]
$CN_{IQT}$	- cetanové číslo naměřené přístrojem IQT	[-]
$CN_{FIT}$	- cetanové číslo naměřené přístrojem FIT	[-]
$ID_{IQT}$	- průtah vznícení naměřený přístrojem IQT	[-]
$ID_{FIT}$	- průtah vznícení naměřený přístrojem FIT	[-]
$F_{p1}$	- minimální pracovní síla pružiny pojistného ventilu	[N]
$F_t$	- síla tlaku stlačeného paliva	[N]
$p_{krit}$	- kritický tlak při kterém dojde k otevření pojistného ventilu	[MPa]
$d$	- průměr sedla pojistného ventilu	[mm]
$F_{pj}$	- síla působící od pružiny na jehlu vstřikovače	[N]
$F_o$	- síla působící na jehlu vstřikovače	[N]
$p_o$	- vstřikovací tlak	[MPa]
$S_o$	- plocha jehly vstřikovače	[mm <sup>2</sup> ]
$F_s$	- síla působící na jehlu vstřikovače od spalovací komory	[N]
$p_s$	- tlak ve spalovací komoře	[MPa]
$S_s$	- plocha vstřikovacích otvorů	[mm <sup>2</sup> ]

## Obsah

1. Úvod .....	10
2. Vznícení a hoření paliva ve válci vznětového motoru .....	11
2.1 Úvod do problematiky .....	11
2.2 Inicie oxidací reakcí .....	11
2.3 Chemický mechanismus vzniku aktivovaných částic .....	12
2.4 Inicie spalovacího procesu ve vznětových motorech .....	13
2.5 Parametry spalovacího procesu ve válci PSM .....	15
2.6 Spalování nepřipravené (heterogenní) směsi ve vznětových motorech ....	16
3. Způsoby zjišťování vznětlivosti paliv pro vznětové motory .....	17
3.1 Charakteristika cetanového čísla .....	17
3.2 Motorová metoda .....	18
3.3 Stanovení cetanového indexu laboratorní metodou .....	19
3.4 Stanovení CC z infračerveného spektra .....	19
3.5 Stanovení CC pomocí průtahu vznícení .....	19
4. Návrh laboratorního zařízení k hodnocení vznětlivosti paliv .....	21
4.1 Sestava zařízení .....	21
4.2 Postup měření cetanového čísla .....	23
4.3 Vstřikování paliva .....	24
4.3.1 Princip vstřikování paliva .....	24
4.3.2 Postup při vstřikování paliva .....	30
4.3.3 Vedení paliva .....	31
4.3.4 Uspořádání palivové soustavy .....	32
4.3.5 Pevnostní kontrola vstřikovacího zařízení .....	33
4.3.5.1 Zadání okrajových podmínek .....	33
4.3.5.2 Určení napětí a deformací .....	33
4.4 Spalovací komora .....	35
4.4.1 Přívod vzduchu do spalovací komory .....	35
4.4.2 Ohřev vzduchu .....	35
4.4.3 Spalovací komora .....	36
4.5 Rám měřícího zařízení .....	38
5. Návrh laboratorního zařízení pomocí softwaru .....	39
6. Způsob vyhodnocení paliva .....	39



7. Seznam použitých komponentů pro návrh měřicího zařízení .....	40
8. Závěr .....	41
Literatura .....	42
Seznam příloh .....	42
Přílohy .....	43

# 1. Úvod

Důležitým parametrem motorových paliv pro vznětové motory je jejich vznětlivost vyjadřovaná cetanovým číslem. V třicátých letech minulého století se vznětlivost paliv začala měřit na zkušebním jednoválcovém motoru. Protože zkouška na jednoválcovém motoru je poměrně náročná, hledal se jiný způsob měření. Koncem devadesátých let minulého století se k zjišťování vznětlivosti paliv začaly ojediněle používat přístroje sledující průběh spalování paliva vstříknutého do komory naplněné ohřátým stlačeným vzduchem. Tento princip zjišťování vznětlivosti byl použit v návrhu funkčního vzorku laboratorního měřicího zařízení, kterým se zabývá tato diplomová práce.

Laboratorní měřicí zařízení se skládá z mechanické a elektronické části. Předmětem předložené diplomové práce je návrh mechanické části zařízení. Elektronickou část navrhl a zhotovil v rámci své diplomové práce Ing. T. Zvolský na Fakultě mechatroniky a mezioborových inženýrských studií TUL.

Úvodní část diplomové práce je věnována popisu průběhu vznícení a hoření paliva ve spalovacím prostoru. Dále jsou stručně uvedeny obvyklé způsoby zjišťování vznětlivosti paliv pro vznětové motory. Stěžejní část diplomové práce se zabývá návrhem mechanické části funkčního vzorku laboratorního zařízení, které měří dobu od počátku vstříku paliva do spalovací komory do jeho vznícení (průtah vznícení) a vyhodnocuje cetanové číslo paliva.

## 2. Vznícení a hoření paliva ve válci vznětového motoru

### 2.1 Úvod do problematiky

Spalovací proces (rychle probíhající chemická oxidační reakce směsi paliva a vzduchu) ve válci spalovacího motoru je od začátku do konce hoření velmi složitý fyzikálně-chemický děj. Především začátek oxidačních reakcí závisí na řadě vlivů, jejichž účinek se často odhaduje (např. složení, koncentrace a stav směsi), neboť tento děj se uskutečňuje v podmínkách rychle se měnících teplot i tlaků. Průběh hoření směsi ve válci spalovacího motoru lze vyhodnotit podle změny průběhu tlaku ve válci motoru (vysokotlaká indikace). Další možností jsou mnohem náročnější metody přímého pozorování dějů ve válci motoru (vizualizace) nebo metody založené na chemické analýze vzorků odebíraných přímo ze spalovacího prostoru motoru v jednotlivých fázích hoření. K vysvětlení průběhu spalovacího procesu se používají následující teorie:

- teorie tepelné iniciace vznícení prostřednictvím aktivovaných částic.

U zážehových motorů – vysokoteplotní, kolem vysokonapětového výboje na elektrodách zapalovací svíčky v malém objemu.

U vznětových motorů – nízkoteplotní, v mnoha místech celého objemu spalovacího prostoru.

- teorie řetězových chemických reakcí a turbulentního šíření čela plamene z jednoho ohniska (zážehové motory) nebo mnoha ohnisek (vznětové motory).

### 2.2 Iniciace oxidačních reakcí

Iniciace oxidačních reakcí závisí na způsobu tvoření a připravenosti hořlavé směsi ve válci motoru, mechanismus iniciace je hlavně určen použitým palivem. Vzájemné souvislosti hlavních fyzikálních parametrů počátku hoření vyjadřuje Semenovův vztah.

$$\tau \cdot p^n \cdot e^{-\frac{E_A}{R \cdot T_z}} = \text{konst}$$

- $\tau$  - průtah vznícení (zážehu), tzv. indukční doba rozběhu oxidačních reakcí  
 $p$  - tlak hořlavé směsi  
 $n$  - řád reakce, obvykle  $1 < n < 2$   
 $E_A$  - aktivační energie  
 $R$  - univerzální plynová konstanta

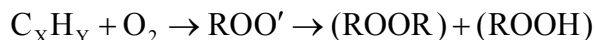
$T_Z$  - teplota směsi

Průtah vznícení převážně závisí na struktuře molekul paliva, směšovacím poměru a dynamice iniciačního procesu. Při srovnatelných podmínkách je doba rozběhu určena především velikostí aktivační energie.  $E_A$  je v jistém smyslu parametr paliva, který vyjadřuje požadavek určité úrovně vnitřní energie potřebné pro rozběh oxidačních reakcí. Pro uhlovodíková paliva se hodnota aktivační energie pohybuje v rozsahu 20 – 400 MJ/kmol (benzinová paliva 90 – 150 MJ/kmol, motorová nafta 25 – 45 MJ/kmol, plynná uhlovodíková paliva 250 – 400 MJ/kmol). Při vysokých teplotách dochází ke snížení aktivační energie až na  $\sim 40$  MJ/kmol (vyšší kinetická energie pohybu molekul přispívá k snadnějšímu překonání energetického potenciálu potřebného k rozběhu reakce).

Velký význam pro začátek spalovacího procesu (vznik plamene), při kterém dochází k vytváření aktivovaných částic, mají předoxidační reakce. Po dosažení potřebné koncentrace aktivovaných částic (v ohnisku hoření) přejdou endotermické reakce na exotermické a vzniká otevřený plamen.

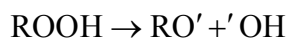
### 2.3. Chemický mechanismus vzniku aktivovaných částic

Do konečných produktů hoření se palivo nedostává přímo, ale spalovací proces se vyznačuje vznikem celé řady meziproduktů, z nichž velký význam mají již zmíněné aktivované částice. Vlivem vysoké teploty se molekuly uhlovodíkového paliva, které přišly do styku s kyslíkem, mění na radikály s peroxidovou vazbou ( $-O-O-$ ) a dále na peroxidy (ROOR) a hydroperoxidy (ROOH). Tento proces lze popsat vztahem, kdy nejprve vzniká metastabilní alkylperoxiradikál ( $ROO'$ ) a poté peroxidy a hydroperoxidy.



Vytvořené peroxidy (ROOR) a hydroperoxidy (ROOH) jsou stabilní pouze v určitém rozsahu teplot a tlaku. Mimo tyto meze se vytvořené sloučeniny rychle rozpadají, přičemž rozpad může mít rozdílný průběh.

- 1) Rozpadem peroxidů vznikají energeticky bohaté aktivované částice, které iniciují další průběh reakcí spojených s uvolňováním tepla.



- 2) V zónách předoxidačních reakcí dochází k rozkladu alkylperoxiradikálů s vytvářením relativně neaktivních aldehydů, ketonů a olefinů.



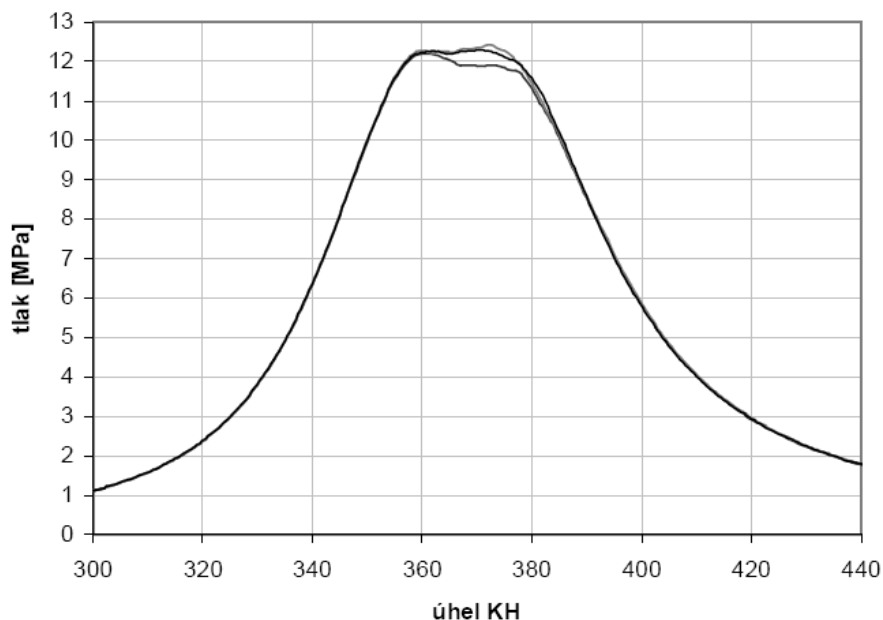
## 2.4. Iniciační spalovacího procesu ve vznětových motorech

Vznětové motory pracují s těžko odpařitelnými palivy. Dvoupalivové provedení motorů se zapalují dávkou těžko odpařitelného paliva a homogenní směsí plynného paliva a vzduchu. Tvoření směsi nastává na konci kompresního zdvihu, kdy se do spalovacího prostoru začne vstříkovat palivo. Procesy fyzikální a chemické probíhají poměrně rychle (průtah vznícení) v celém objemu spalovacího prostoru (mechanismus tzv. nízkoteplotního vznícení). Při fyzikálních procesech dochází vlivem vysokého tlaku vzduchu, kompresní teploty a tlaku vstříkované dávky paliva k rozpadu paprsku vstříkované dávky. Paprsek se rozstříkne do velmi malých kapek. Na povrchu těchto kapek se odpařuje palivo a palivové páry se mísí se vzduchem. Při chemických procesech se rozpadají rozvětvené molekuly uhlovodíkového paliva a vznikají radikály – aktivované částice. Následné vznícení směsi ve větším počtu ohnisek téměř současně spolu s rozvojem hoření do ostatních míst spalovacího prostoru spolu s dalším vznikem nových ohnisek zajišťují relativně rychlé vyhoření vstříknuté dávky paliva. U vznětových motorů mají velký vliv na průběh spalování tvarové a vírové vlastnosti spalovacího prostoru a kvalita vstříkovaného paliva. Vhodnost paliva pro vznětové motory potom vyjadřuje cetanové číslo. Tvarové a vírové vlastnosti určuje hlavně provedení spalovacího prostoru – tvar hlavy pístu (motory s přímým vstřikem paliva) nebo tvar komůrky (motory s nepřímým vstřikem paliva), poloha vstřikovací jednotky a konstrukční uspořádání vstupních ventilů.

V okamžiku vznícení i následném průběhu hoření je velká část objemu spalovacího prostoru vyplněna směsí kapek paliva a vzduchu (heterogenní směs). Začátek hoření má povahu kinetického hoření. Průběh hoření v heterogenní směsi je určen rychlostí tvoření směsi (rychlostí směřování palivových par v okolí kapiček se vzduchem). Hoření je pak závislé na vzájemné difuzi těchto dvou složek (spalování heterogenní směsi po počáteční kinetickém hoření přechází do hoření difusního).

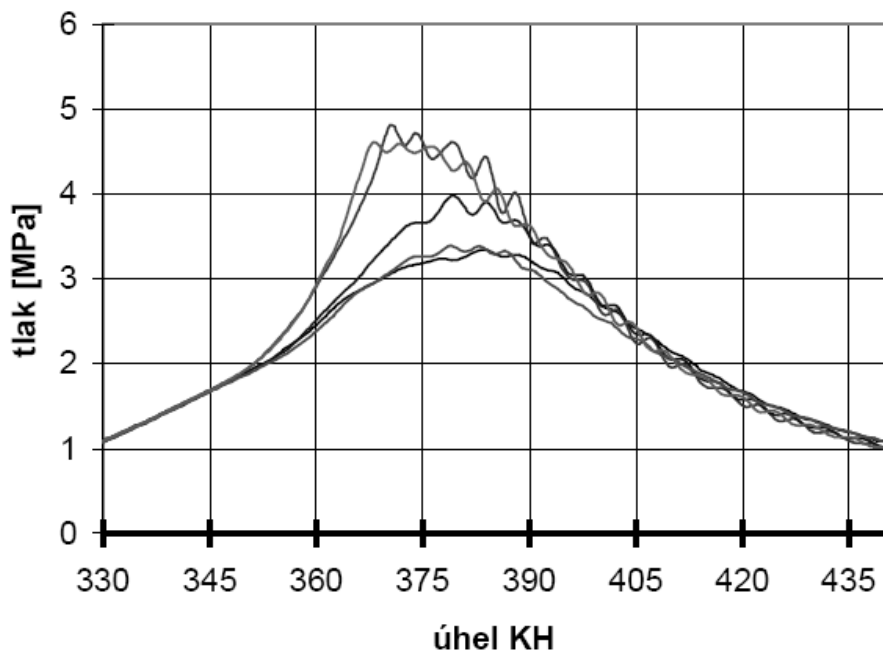
Spalovací proces vznětových motorů se, oproti zážehovým motorům, vyznačuje vysokou mezioběhovou stabilitou. To je způsobeno velkým počtem ohnisek hoření, při kterém se uvolní velké množství energie, rozvojem hoření z mnoha ohnisek (počet ohnisek v celém průběhu vyhořívání je cca  $10^4 - 10^5$ ) rozložených po celém objemu

spalovacího prostoru a postupnou aktivací nových ohnisek v závislosti na průběhu vstřikování dávky paliva. Zjišťovaná stabilita je tedy statistickým výsledkem všech probíhajících dějů. Na obr. 2.1 jsou zobrazeny záznamy z měření průběhu tlaku ve válci vznětového motoru, které ukazují malou variabilitu pracovních cyklů.



Obr. 2.1: Průběh tlaku ve válci vznětového motoru [3]

Na obr. 2.2 je pro představu znázorněn průběh měření zážehového motoru, který zřetelně ukazuje na variabilitu pracovních cyklů.



Obr. 2.2: Průběh tlaku ve válci zážehového motoru [3]

## 2.5. Parametry spalovacího procesu ve válci PSM

Pro popis průběhu hoření paliva ve válci se zpravidla používá Wiebeho charakteristická rovnice hoření. Ta vyjadřuje rychlost uvolnění tepla  $w_x$  při spalování směsi v závislosti na čase (resp. na úhlu pootočení klikového hřídele).

$$w_x = \frac{Q_{\text{hoř}}}{\alpha_{\text{hoř}}} \cdot C \cdot (m+1) \cdot \left( \frac{\alpha_x}{\alpha_{\text{hoř}}} \right)^m \cdot e^{-C \cdot \left( \frac{\alpha_x}{\alpha_{\text{hoř}}} \right)^{(m+1)}}$$

$w_x$  - přivedené teplo v místě  $\alpha_x$  pracovního oběhu

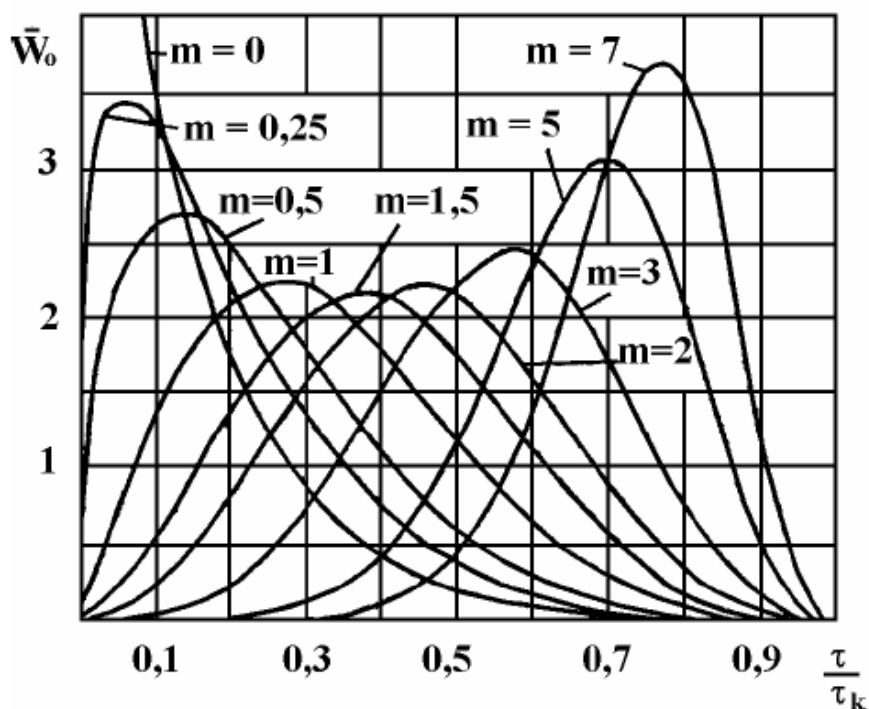
$Q_{\text{hoř}}$  - celkové přivedené teplo do oběhu

$\alpha_{\text{hoř}}$  - celková doba hoření směsi ve válci

$C$  - konstanta, určená podle definovaného konce hoření

$m$  - parametr hoření určený podle charakteru spalovacího procesu (záleží především na způsobu tvoření směsi)

Na obr. 2.3 jsou znázorněny tvary zákona hoření (rychlosti hoření – rychlosti přívodu tepla pracovní látky) podle Wiebeho charakteristické rovnice v bezrozměrném stavu v závislosti na parametru  $m$ .



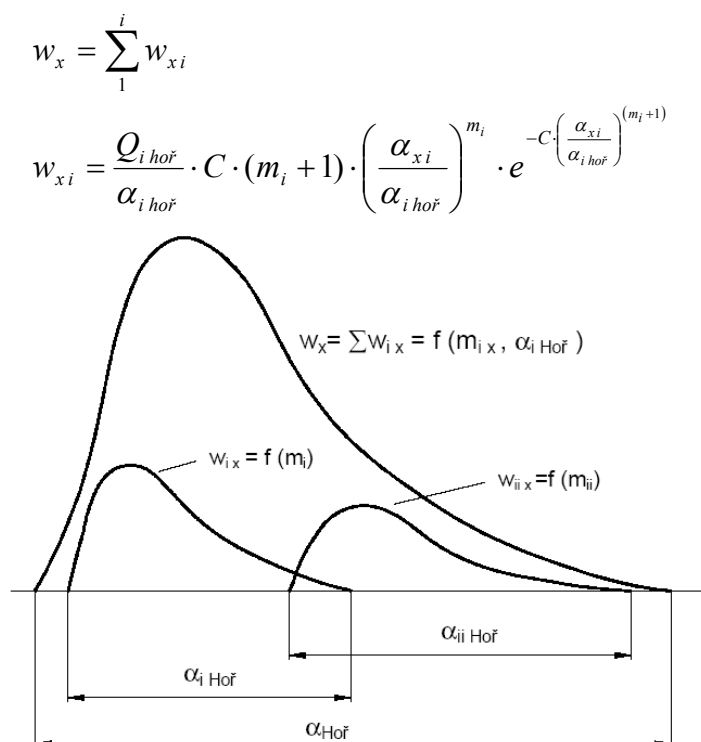
Obr. 2.3: Průběhy zákona hoření pro různé hodnoty parametru  $m$  [3]

Wiebeho charakteristická rovnice určuje průběh rychlosti hoření křivkou bez jakéhokoliv zvlnění nebo prodlevy, zatímco skutečný průběh se může vyznačovat fázemi s většími odchylkami od popisu Wiebeho charakteristické rovnice.

## 2.6. Spalování nepřipravené (heterogenní) směsi ve vznětových motorech

Ve vznětovém motoru se spalovací proces vysvětluje jako kombinace kinetického hoření směsi z části paliva stříknutého na samém počátku dávky a difusního hoření, vytvořeného za jejího současného spalování. Difusní hoření probíhá při vysoké teplotě a relativně vysokou rychlostí. Ve směsi se nacházejí současně i kapky paliva – tato fáze se nazývá heterogenní hoření.

Pro vznětové motory jsou parametry Wiebeho charakteristické rovnice v daném režimu prakticky neměnné. Moderní vznětový motor má ve jmenovitém režimu parametry hoření  $m \sim 0,4$  a dobu hoření  $\alpha_{hoř} \sim 50^\circ$  KH. Výsledný průběh spalovacího procesu (z hlediska uvolnění tepla) je potom součtem jednotlivých ohnisek. Mezioběhovou stabilitu lze vyjádřit s velkou spolehlivostí jednou Wiebeho charakteristickou rovnicí se středními hodnotami  $m$  a  $\alpha_{hoř}$ . Názorně tuto situaci ukazuje schéma na obr. 2.4.



Obr. 2-4: Schéma zákona hoření u vznětového motoru [3]



## 3 Způsoby zjišťování vznětlivosti paliv pro vznětové motory

### 3.1 Charakteristika cetanového čísla

Vzhledem k požadavku přiměřeně krátkého průtahu vznícení nafty vstřikované do spalovacího prostoru je důležitou vlastností její schopnost ke vznícení (samovznícení). Tato vlastnost se hodnotí takzvaným cetanovým číslem. Hodnocení paliva se provádí pomocí srovnávání parametrů se standardním palivem, vytvořeným jako směs dvou čistých uhlovodíků:

- cetanu  $C_{16}H_{34}$  – (n-alkan) vykazuje velmi krátký průtah vznícení a jeho hodnota je tedy  $CC = 100$
- alfa-metylnaftalénu  $C_{11}H_{10}$  – (aromatický uhlovodík) vykazuje velmi dlouhý průtah vznícení a jeho hodnota  $CC = 0$

Cetanové číslo směsi je tedy objemové procento směsi cetanu a alfa-metylnaftalénu, které vykazuje stejné vlastnosti jako zkušební vzorek. Např. pokud má motorová nafta cetanové číslo 55, znamená to, že se chová stejně jako 55 obj. % cetanu a 45 obj. % alfa-metylnaftalénu.

Vztah cetanového čísla paliva k funkci motoru je velmi složitý. Závisí totiž na mnoha faktorech jako je velikost kapiček rozprášeného paliva, promísení se vzduchem a další. Ovlivňuje celou řadu funkcí motoru, studený start, hluk motoru a emise. Nízká hodnota cetanového čísla zvyšuje tvrdost chodu, zejména u rychloběžných motorů. Vyvolá rychlý nárůst tlaku, který se projevuje u některých motorů hlukem a kouřením, vytvářením sazí a nadměrným dohoříváním při expanzi v důsledku příliš dlouhého průtahu vznícení. Naopak příliš velká hodnota cetanového čísla má za důsledek, že vstřikovaná dávka vyhoří příliš rychle a blízko vstřikovací trysky, protože vstřikovaný paprsek nemá možnost se výrazněji promísit se vzduchem. Motor kouří a vlivem velké blízkosti od vstřikovací trysky může dojít k jejímu poškození (zapečení). Proto se otázky optimálního průběhu spalování řeší spíše vhodnou konstrukcí spalovacího prostoru (umístění vstřikovací trysky, tvarem hlavy pístu a uspořádání vstupních ventilů) a volbou správného načasování vstřikované dávky paliva s umožněním několika samostatných vstřiků za jeden pracovní cyklus (předstřík paliva, hlavní vstřík a dostřík). Přirozené cetanové číslo většiny motorových naft se pohybuje v rozmezí 45 –

55 a zatím není potřeba jeho zvyšování, i když přísady pro jeho další navyšování jsou již dávno známy.

Pro blízkou budoucnost se ale počítá se zvýšením požadavku na cetanové číslo, a to až k hodnotám kolem 58 jednotek CC. Moderní motory s elektronickým řízením vstřikování paliva budou pravděpodobně schopny využít přednosti paliva s vyšším cetanovým číslem i ke zvýšení výkonu (zejména při vysokých otáčkách).

Hodnocení paliv z hlediska požadavků na antidetonační odolnost a schopnost samovznícení jsou protichůdné. Palivo s vysokou hodnotou oktanového čísla má nízkou hodnotu cetanového čísla a naopak. Vztah mezi vlastností paliv na antidetonační odolnost a schopností samovznícení je dán následovně:

$$OČ = 120 - 2 \cdot CC$$

$$CC = 60 - 0,5 \cdot OČ$$

Hodnota cetanového čísla se zjišťuje několika metodami:

- 1) motorová metoda
- 2) stanovení cetanového indexu laboratorní metodou (vypočtený z hustoty a destilace)
- 3) vyhodnocení z infračerveného spektra
- 4) stanovení cetanového čísla pomocí průtahu vznícení

### 3.2 Motorová metoda

Tato metoda je nejvíce známou a nejvíce používanou metodou stanovení cetanového čísla již od dvacátých let minulého století. Zjišťuje se na speciálním zkušebním motoru s plynule proměnlivým kompresním poměrem. Ne však jako motor pro stanovení oktanového čísla změnou polohy válce hlavy, ale zasouváním horizontálně uloženého pístu (plunžru) jemným šroubovým mechanismem do spalovacího prostoru v režimu konstantních otáček. Princip zkušebního postupu je podobný jako u stanovení OČ, tj. srovnávání parametrů samovznícení s referenčními palivy, vytvořeným směsí dvou čistých uhlovodíků (cetan a alfa-naftalén). Protože motorová zkouška je poměrně náročná, hledají se další rychlejší metody získání hodnot cetanového čísla.

### 3.3 Stanovení cetanového indexu laboratorní metodou

Cetanový index, který se stanoví výpočtem z výsledků dvou jednoduchých laboratorních zkoušek: zkouška hustoty a zkouška destilace. Cetanový index nevychází u téhož paliva stejně jako cetanové číslo. Prakticky vždy je o několik jednotek nižší, ale do značné míry v sobě odráží Cetanové číslo. Cetanový index se tedy vypočítá z hustoty a teplot, při kterých predestilovalo 50 % zkoušeného paliva a vypočítá se pomocí vztahu (dle ASTM D976) [6]:

$$CI = 454,74 - 1641,416 \cdot D + 774,74 \cdot D^2 - 0,554 \cdot T + 97,803 \cdot (\log T)^2$$

D - hustota vzorku při 15° C vyjádřená v g/cm<sup>3</sup>

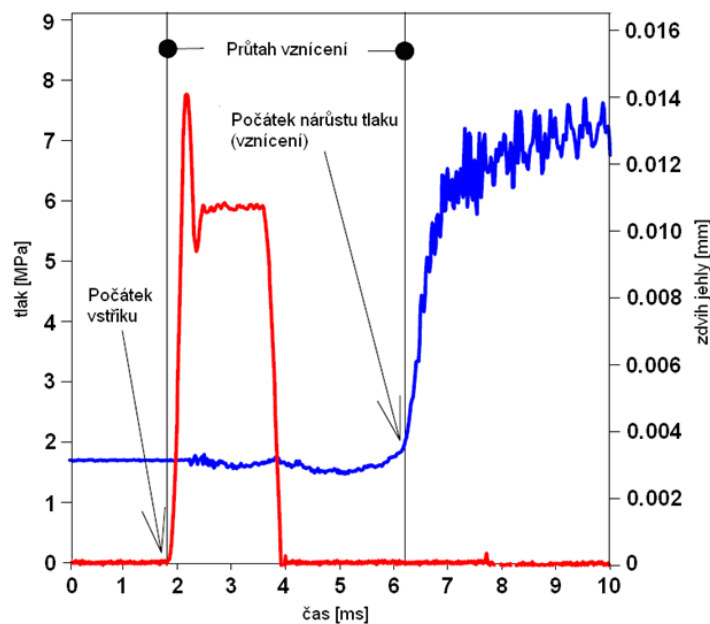
T - teplota [°C], při které predestiluje 50 % obj. vzorku

### 3.4 Stanovení CČ z infračerveného spektra

Infračervená spektrometrie je založena na principu interakce elektromagnetického záření infračervené oblasti s molekulami analyzované látky. Při absorpci záření dochází ke změnám rotačních a vibračních stavů molekul. Tato metoda závisí na přesné kalibraci a matematickém algoritmu měřicího přístroje. Samotná kalibrace vyžaduje několik měření vzorku paliva proměřeného na klasické motorové metodě.

### 3.5 Stanovení CČ pomocí průtahu vznícení

Principiálně je tato metoda založená na měření času průtahu vznícení. To je dobou od počátku vstřiku měřeného paliva do měřicího válce a počátkem nárůstu tlaku (vznícení), jak je znázorněno na obr. 3.1. Zde je modře znázorněn průběh tlaku ve zkušebním válci a červeně zdvih jehly vstřikovacího zařízení.



Obr. 3.1: Průběh zdvihu jehly vstřikovače a tlaku [9]

Výsledné cetanové číslo je vypočteno pomocí rovnice, do které se dosadí hodnota průtahu vznícení v ms. V současné době existují dva přístroje využívající metody získání cetanového čísla pomocí průtahu vznícení. Jedná se o přístroje firmy Fueltech Norway FIT (Fuel ignitron tester) a firmy Waukesha Engine Division Dresser Industrie Inc. IQT (Ignitron duality tester). Vztahy pro stanovení cetanového čísla FIT a IQT zařízení jsou [2]:

$$CN_{IQT} = 83,99 \cdot (ID_{IQT} - 1,512)^{0,658} + 3,547$$

$$CN_{FIT} = 83,99 \cdot ((0,995 \cdot ID_{FIT} - 0,614) - 1,512)^{0,658} + 3,547$$

$ID_{IQT}$  - průtah vznícení naměřený přístrojem IQT v ms

$ID_{FIT}$  - průtah vznícení naměřený přístrojem FIT v ms

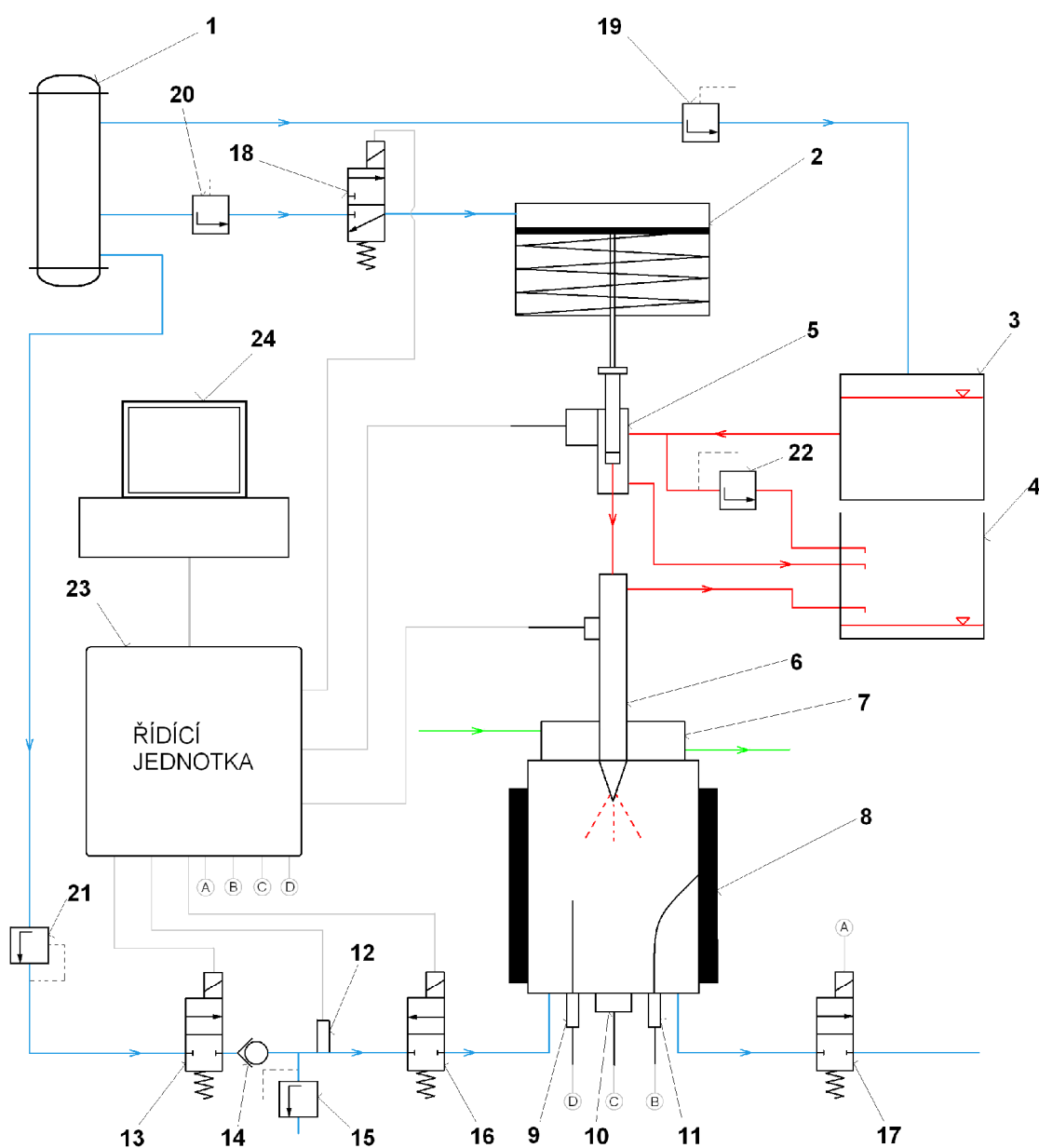
Oblast použití jednotlivých měřicích zařízení je u přístroje IQT stanovena na  $CC = 33 - 60$  a pro FIT  $CC = 40 - 60$ .

Tohoto principu měření je použito při stavbě zařízení, jehož mechanická část je popsána v této diplomové práci. Elektronická část zařízení byla zhotovována na Fakultě mechatroniky a mezioborových inženýrských studií zdejší univerzity.

## 4 Návrh laboratorního zařízení k hodnocení vznětlivosti paliv

### 4.1 Sestava zařízení

Navrhované laboratorní zařízení musí splňovat určité požadavky pro posouzení zkoušeného paliva. Tím je volba velikosti tlaku vstřikovaného paliva, možnost vstříknutí libovolného objemu dávky paliva a nastavitelné hodnoty teploty a tlaku ve spalovací komoře. Schéma navrhovaného měřicího zařízení je znázorněno na obrázku 4.1.



Obr. 4.1: Schéma měřicího zařízení

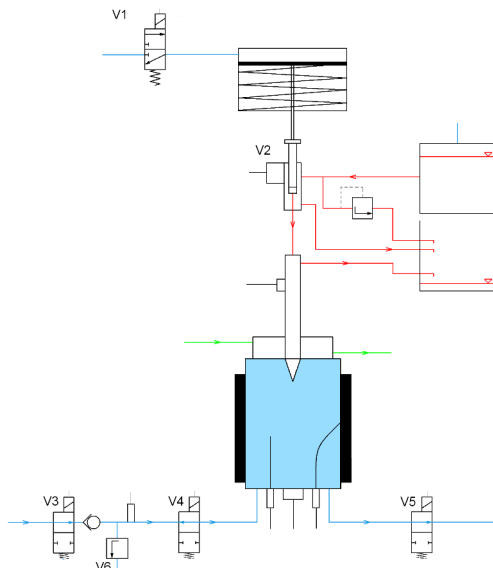
Navrhované zařízení lze rozdělit do několika částí, z nichž každá plní určitou pracovní funkci. První část se skládá ze vstřikovacího zařízení, kde jsou umístěny dva upravené vstřikovače. První vstřikovač (poz. 6) zajišťuje vstříknutí dávky do spalovací komory a je opatřen indukčním snímačem zdvihu jehly. Jedná se o již existující vstřikovač používaný ve vozech koncernu VW v motorech 1,9/66kW SDI. Tento vstřikovač je tlakově spojen se vstřikovacím zařízením, jehož hlavní částí je upravená vstřikovací jednotka čerpadlo-tryska, která je opatřena elektromagnetickým ventilem, ovládající velikost vstřikované dávky (poz. 5). Tato jednotka se opět používá ve vozech koncernu VW v motorech 1,4/59kW PD. Palivo je dopravováno do systému ze zásobníku paliva (poz. 3) pomocí stlačeného vzduchu z tlakové lahve (poz.1), tlak je nastaven redukčním ventilem (poz.19). Přebytečné palivo odtéká do odpadní nádoby (poz.4). Energie pro vstříknutí se získá z jednočinného pneumatického válce (poz. 2), který je ovládán pomocí elektromagnetického ventilu (poz. 18). Vzduch do komory pneumatického válce se vpouští z tlakové lahve opatřené redukčním ventilem (poz.20). Princip vstřikování bude popsán v kapitole 4.3. Další částí vstřikovacího zařízení je spalovací komora o objemu 0,4 l, která je opatřena topným tělesem (poz. 8), do ní je dopravován vzduch z tlakové lahve přes redukční ventil (poz. 21) a dva elektromagnetické ventily (poz. 13, 16). Tyto ventily umožňují udržet přetlak pouze v jednom směru a jsou vzájemně umístěny tak, aby plnily několik požadovaných funkcí – plnění spalovací komory, regulování požadovaného tlaku, uzavření spalovací komory a propláchnutí. První ventil (poz. 13) zavírá přívod vzduchu z tlakové lahve, druhý ventil (poz. 16) zavírá spalovací komoru. Mezi ventily je umístěn jednosměrný ventil (poz. 14), přetlakový ventil (poz. 15) a snímač tlaku (poz. 12). Obsah komory se vypouští a proplachuje pomocí elektromagnetického ventilu (poz. 17). Vzhledem k tomu, že spalovací komora je neustále vyhřívána pomocí topného tělesa a vstřikovač je umístěn přímo na spalovací komoře, kde bude neustále vystavován vysokým teplotním zatížením, je toto zařízení vybaveno chladícím okruhem (poz. 7). Ve spalovací komoře jsou umístěny dva termočlánky (poz. 9, 11) a piezoelektrický snímač tlaku (poz. 10). Jeden termočlánek slouží k měření teploty stěny komory a druhý k měření teploty vzduchu v komoře. Měřicí zařízení je osazeno řídicí jednotkou (poz. 23), která je také opatřena ovládacími prvky, do které jsou přivedeny signály ze všech ovládacích a měřicích částí zařízení. Tato jednotka je poté napojena přes seriové rozhraní do počítače (poz. 24), ve kterém je navržen program pro zobrazení průběhu změřeného zdvihu jehly vstřikovače, tlaku ve spalovací komoře, stanovení průtahu

vznícení a vypočítat hodnotu cetanového čísla. Schéma také obsahuje pojistný ventil (poz. 22), jeho funkce je podrobněji popsána v kapitole 4.3.1.

## 4.2 Postup měření cetanového čísla

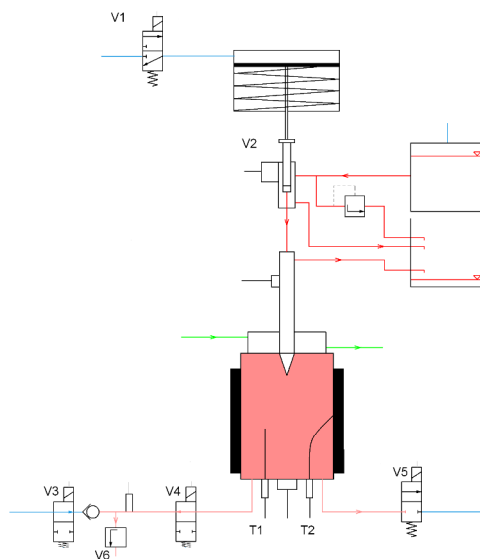
Na následujících obrázcích je znázorněn postup měření vznětlivosti paliv.

- 1) Nejprve se otevřením ventilů V3, V4 a V5 vypláchne spalovací komora.



Obr. 4.2: Princip měření vznětlivosti (vyplachování)

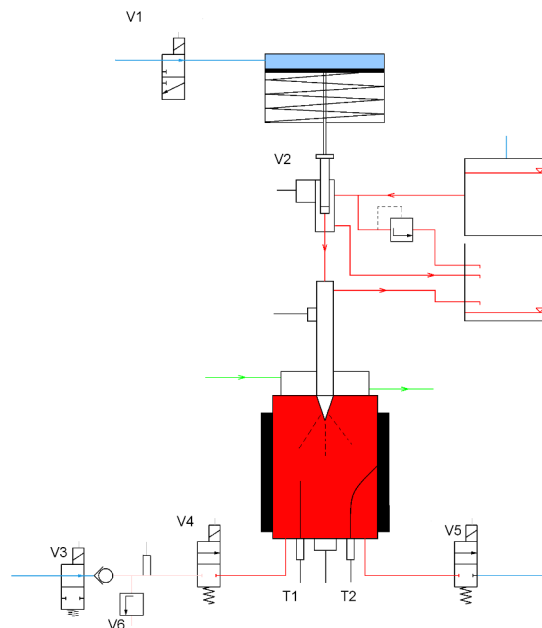
- 2) Uzavřením V5 začne ve spalovací komoře stoupat tlak na požadovanou hodnotu (tento tlak se dá nastavit přetlakovým ventilem V6).
- 3) Na spalovací komoře se zapne topné těleso a začne se ohřívat vzduch. Vlivem ohřevu vzduchu začne také ve spalovací komoře stoupat tlak, přebytečný vzduch se začne odpouštět přes přetlakový ventil V6.



Obr. 4.3: Princip měření vznětlivosti (ohřev vzduchu)

Poté se uzavře ventil V4 a tím je nastaven vzduch ve spalovací komoře na začátek měření. Teplotu lze regulovat pomocí topného tělesa a lze ji monitorovat pomocí termočlánků T1 a T2.

- 4) Otevřením ventilu V1 se otevře přívod vzduchu do pneumatického válce a začne se vstříkovat palivo (podrobnější popis je uveden v kapitole 4.3). Program zaznamená průběh zdvihu jehly na vstřikovači a průběh tlaku ve spalovací komoře (piezoelektrický snímač tlaku).



Obr. 4.4: Princip měření vznětlivosti (vstřikování paliva)

- 5) Spaliny ze spalovací komory se vypustí otevřením ventilu V5 a pomocí otevřených ventilů V3 a V4 se může spalovací komora vypláchnout.

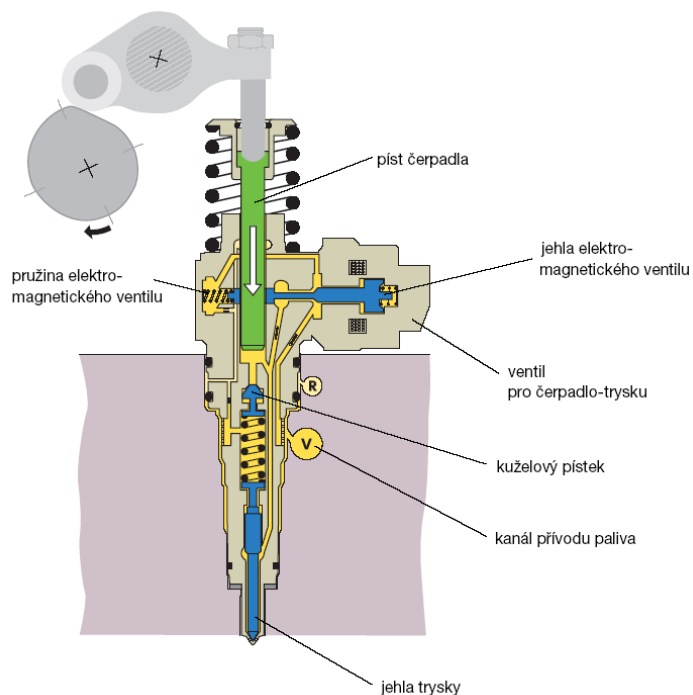
## 4.3. Vstřikování paliva

### 4.3.1 Princip vstřikování paliva

Původní záměr pro vstřikovací systém byl využít pouze jednu vstřikovací jednotku čerpadlo-tryska z koncernových motorů vozů VW z důvodu její kompaktnosti a systému elektronického ovládání vstřikované dávky pomocí elektromagnetu. Po detailnějším prozkoumání celého systému se ukázal tento vstřikovač jako nedostačující a to z několika hledisek. Elektromagnet v této vstřikovací jednotce slouží pouze k ukončení hlavní vstřikovací fáze. Dále tato jednotka disponuje mechanickým předstříkem paliva, což je pro použití v tomto zařízení také nevyhovující. Proto je v navrhovaném zařízení tato jednotka užita jen jako zdroj tlaku a řízení požadovaného

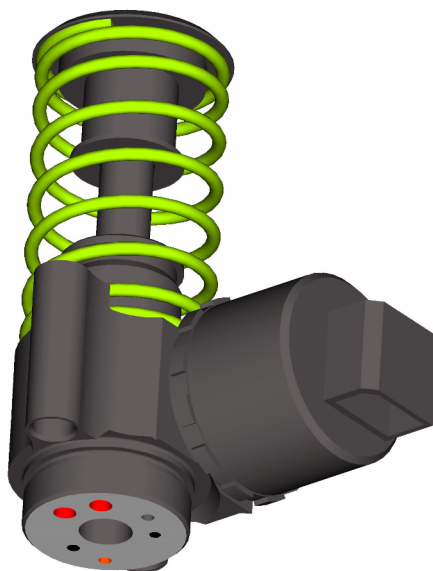


množství paliva. Na obrázku 4.5 je znázorněno schéma původní podoby vstřikovače čerpadlo-tryska.



Obr. 4.5: Schéma vstřikovače čerpadlo-tryska[10]

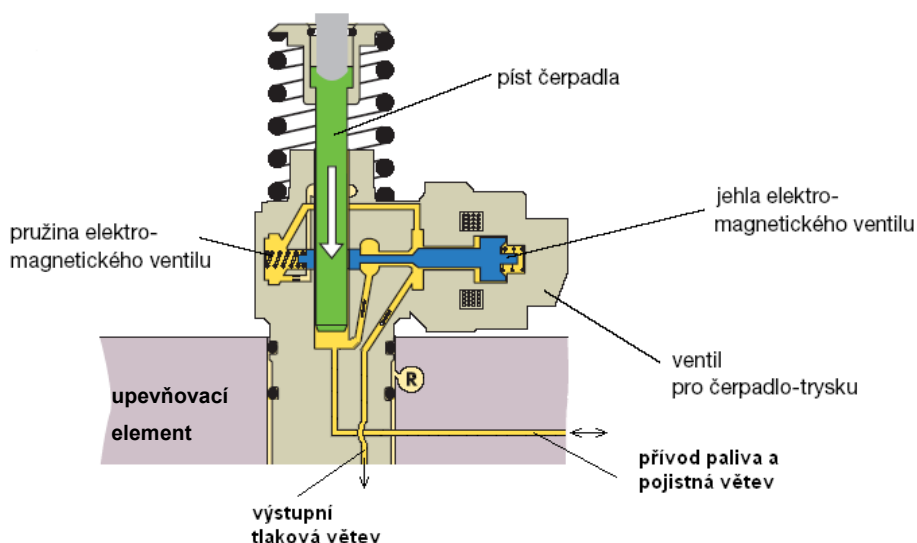
Z původního systému pro užití v měřicím zařízení byla odstraněna celá část zajišťující předvstřík a hlavní vstřík paliva, jak je znázorněno na obrázku 4.6 Zdvih pístku může být až 10 mm.



Obr. 4.6: Použité části ze vstřikovače čerpadlo-tryska

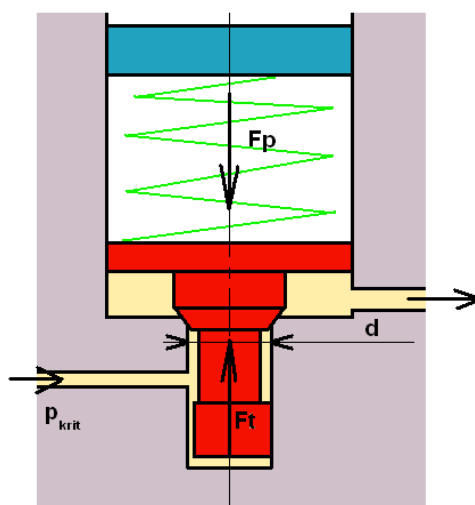
Pro požadovanou funkčnost elektromagnetického ventilu je nutné změnit smysl proudění paliva v tlakové jednotce, tak aby elektromagnetický ventil neplnil pouze

funkci ukončení dávky vstřiku, ale i počátek vstřiku. Tuto funkci zajišťuje podložka vsazená mezi tlakovou jednotku a upevňovací element. Schéma přepracovaného tlakového zařízení je na obr. 4.7.



Obr. 4.7: Schéma přepracované tlakové jednotky

Původní kanál přívodu paliva je přepracován a slouží jako tlaková větev pro druhý vstřikovač se snímačem zdvihu jehly. Přívod měřeného paliva je proveden pomocí nově vytvořeného kanálu, který má i pojišťovací funkci. Při uzavírání elektromagnetického ventilu na konci vstřiku může docházet ke skokovému nárůstu tlaků a tím i k poškození celého zařízení. Proto je na vstupní větvi umístěn pojistný ventil vlastní konstrukce (pružina k tomuto ventilu je navržena pomocí softwaru Mechsoft Plus), který začne přepouštět palivo zpět do nádoby, v případě že tlak vzroste nad hodnotu 90 MPa. Do budoucna je samozřejmě možné hodnotu přepouštěcího tlaku volbou vhodné pružiny zvýšit. Schéma provedení je zobrazeno na obrázku 4.8.



Obr. 4.8: Schéma provedení pojistného ventilu

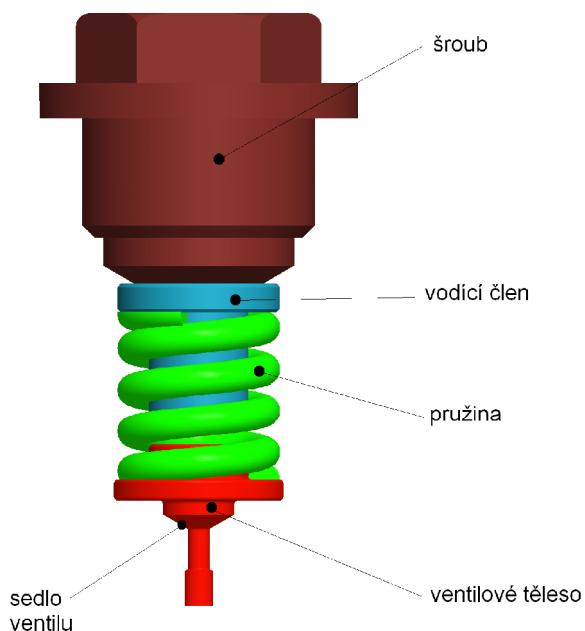
Silová rovnováha v zavřené poloze ventilu je tedy :

$$\sum F_i = 0$$

$$F_{p1} - F_t = 0$$

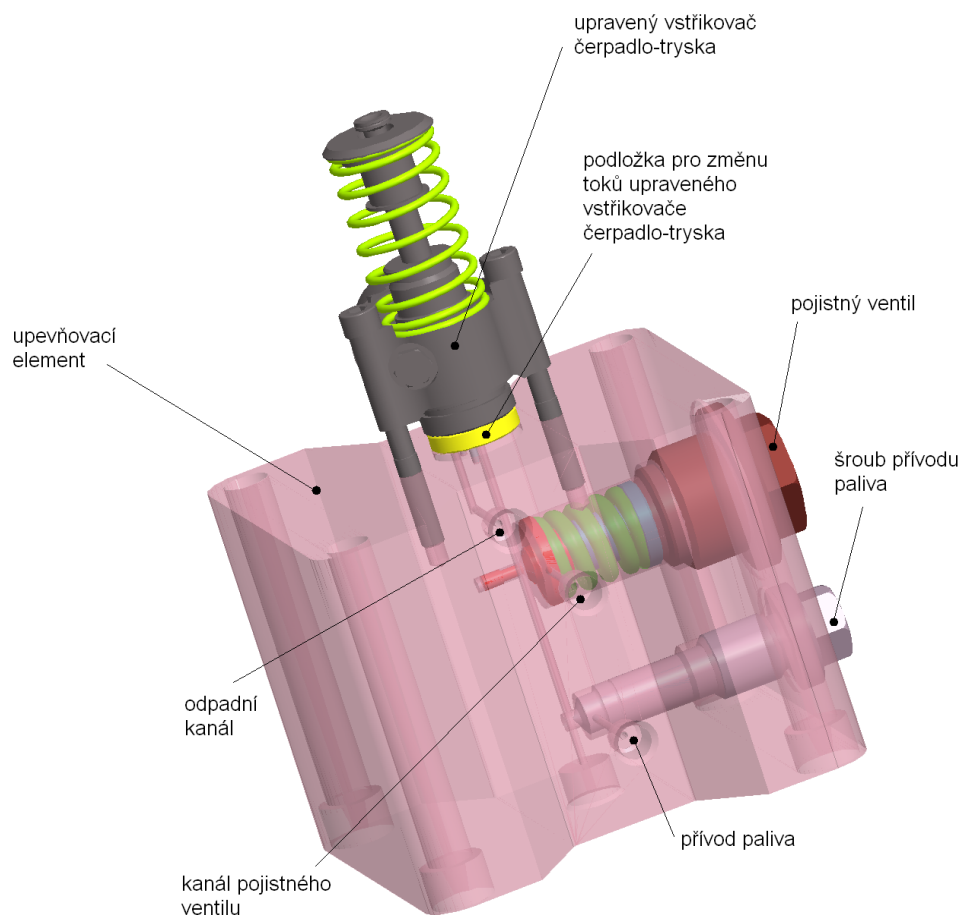
$$F_{p1} = p_{krit} \cdot S = p_{krit} \cdot \frac{\pi \cdot d^2}{4}$$

Výsledný návrh pojistného ventilu je zobrazen na obrázku 4.9 a skládá se z těchto částí: ventilového tělesa, pružiny, vodícího členu a šroubu. Šroub plní také těsnicí funkci, aby nedocházelo k nežádoucímu úniku stlačeného paliva. Při jeho plném dotažení dojde k požadovanému předpětí pružiny.



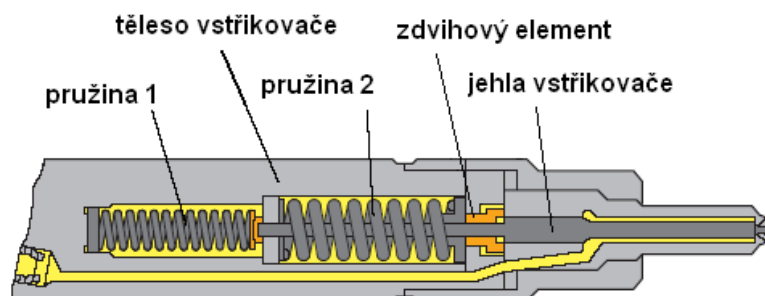
Obr. 4.9: Pojistný ventil

Ventil je v kanálu umístěn také z bezpečnostního hlediska, pokud by došlo k nečekanému jevu na zařízení a tlak v systému by nekontrolovatelně stoupal, ventil opět začne přepouštět palivo zpět do nádoby. Na této větvi je ještě umístěn uzávěr pro přívod paliva do měřícího zařízení. Tento uzávěr je „otevřen“ jen při plnění zkouškovým palivem. Během měření je uzávěr šroubovým závitem uzavřen a tím nedochází k uniku stlačeného paliva zpět do nádoby s palivem. Výsledný návrh zařízení pro tvorbu tlaku je zobrazen na obrázku 4.10. Pojistný ventil, uzavírací šroub přívodního paliva a upravený vstříkovač čerpadlo tryska jsou umístěny v upevňovacím elementu, ve kterém jsou navrženy i kanály pro přívod a odvod paliva.



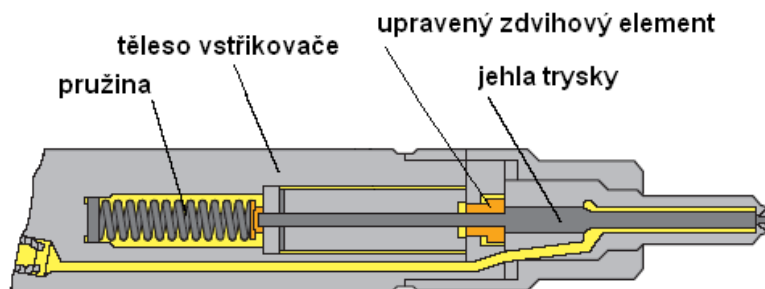
Obr. 4.10: Tlaková část vstřikovače

Další částí vstřikovacího systému laboratorního zařízení je vstřikovač se snímačem zdvihu jehly. Tento vstřikovač je také vybaven mechanickým předstříkem dávky paliva, jak je patrné z obrázku 4.11.



Obr. 4.11: Schéma vstřikovače se snímačem zdvihu jehly[10]

Upravením zdvihového elementu, který bude mít jen vodící funkci, a odstraněním pružiny 2, se zamezí pomocné dávce předstříku paliva. Schéma upraveného vstřikovače je na obr. 4.12.



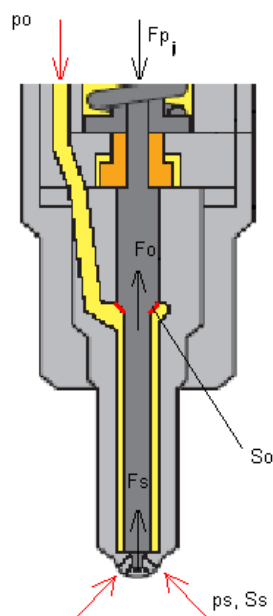
Obr. 4.12: Schéma vstřikovače se snímačem zdvihu jehly

Volbou vhodné pružiny lze nastavit hodnotu tlaku, při které dojde k pohybu jehly vstřikovače. Síly působící na jehlu vstřikovače jsou zakresleny v obrázku 4.13. V počátku zdvihu jehly je silová rovnováha dána silou působící od pružiny ( $F_p$ ), požadovaným vstřikovacím tlakem, který působí na jehlu vstřikovače ( $p_o$ ,  $S_o$ ), a tlakem prostředí spalovací komory, který působí na jehlu trysky ( $p_s$ ,  $S_s$ ). Rovnice rovnováhy sil na počátku vstřiku bude tedy vypadat takto:

$$\sum F_i = 0$$

$$F_{pj} - F_o - F_s = 0$$

$$F_{pj} - p_o \cdot S_o - p_s \cdot S_s = 0$$



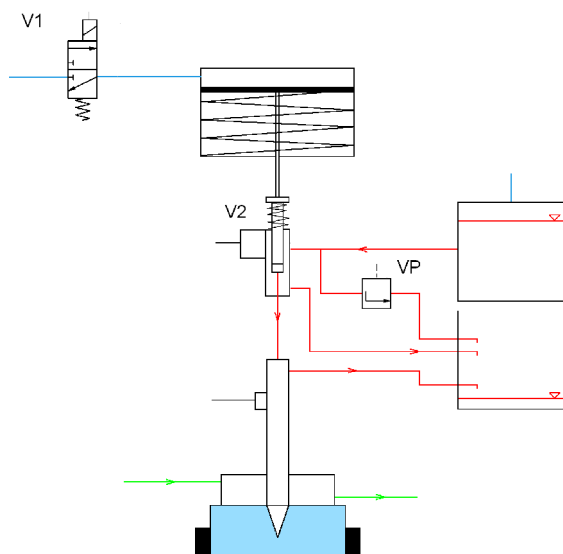
Obr. 4.13: Silové uspořádání sil na jehle vstřikovače

Ponecháním původní pružiny dochází k pohybu jehly při tlaku paliva 19MPa.

Poslední částí vstřikovacího systému je pneumatický válec, který slouží jako zdroj potřebné síly pro vstřikování paliva. Pro tento účel byl vybrán jednočinný pneumatický válec s krátkým zdvihem o průměru pístu 100 mm (Stránský a Petržík s.r.o.). Válec pracuje v rozsahu tlaků 0,15-0,6 MPa (maximální přípustný tlak je 1 MPa). Velikost vysouvací síly válce při tlaku 0,6 Mpa je 4713 N. Tedy maximální teoretická hodnota vystřikované dávky je 93 Mpa. Vstřikovací tlak je tedy nutné volit do hodnoty pojistného ventilu. Pístní tyč v jednotce čerpadlo-tryska má průměr 8 mm, proti pohybu pneumatického válce ještě působí síla od pružiny na vstřikovači čerpadlo-tryska. Vzduch do válce je ovládán pomocí redukčního ventilu (GCE) a elektromagnetického rozvaděče (Bürkert Contromatic GmbH) 3/2.

#### 4.3.2 Postup při vstřikování paliva

- 1) Po naplnění vstřikovacího systému se uzavře šroub přívodu paliva a ventil V2 v jednotce čerpadlo-tryska se také uzavře.
- 2) Otevře se ventil V1, čímž se vpustí stlačený vzduch do pneumatického válce a vytvoří se potřebná síla pro vstříknutí paliva.
- 3) Otevřením ventilu V2 dojde k uvolnění stlačené dávky paliva a vstřikovač se snímačem zdvihu jehly začne vstřikovat požadovanou dávku paliva.
- 4) Uzavřením ventilu V2 dojde k ukončení vstřikované dávky. Pokud by tlak v systému skokově stoupl nad hodnotu 90 MPa, dojde pomocí ventilu VP k odpuštění stlačeného paliva do odpadní nádoby.
- 5) Ventil V1 se přepne do polohy vypouštění vzduchu a pneumatický válec se začne vypouštět.

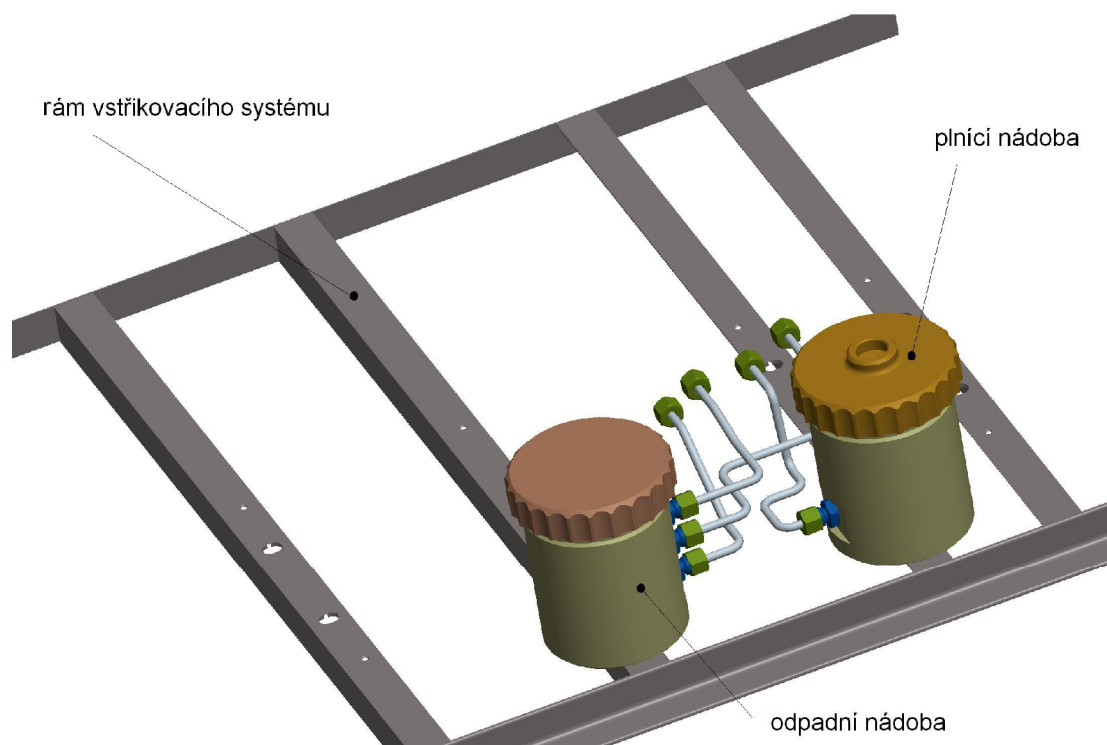


Obr. 4.14: Vstřikovací zařízení

### 4.3.3 Vedení paliva

Přívod paliva do měřicího zařízení je proveden pomocí stlačeného vzduchu, který je přiváděn z tlakové lahve do palivové nádoby umístěné na rámu vstřikovacího zařízení. Plnicí tlak palivového systému je možno nastavit pomocí redukčního ventilu (GCE). Pro správné naplnění kanálů by se tato hodnota měla pohybovat kolem 0,75MPa, což je tlak který se používá v palivových systémech vozů užívající techniku čerpadlo-tryska. Aby byl vstřikovací systém správně naplněn měřeným palivem, je potřeba provést několik vstřikovacích cyklů naprázdno, bez zapojení topného tělesa. Pro tuto funkci je zkonstruován válec, bez přívodu vzduchu a topného tělesa, kterým se na dobu proplachování nahradí spalovací komora.

Konstrukce použitých vstřikovačů je opálena odpadními kanály, které odvádí ze vstřikovacího systému nevyužité palivo. Jedná se o objem nevstříknutého paliva a ztrát vzniklých mezi pohybujícími se prvky jednotky pro tvorbu tlaku a vstřikovače. Přebytečné palivo je odvedeno do odpadní nádoby, která má stejný objem i konstrukci jako nádoba plnicí. Jde tedy o odpadní kanál v jednotce čerpadlo tryska, kanál přepouštěcího (pojistného) ventilu a odpadní kanál na vstřikovači. Odpadní nádoba není tlakově uzavřená. Na víku nádoby je otvor, kterým se vyrovnávají rozdílné hodnoty tlaků. Konstrukční provedení palivových nádob a jejich umístění na rámu celého vstřikovacího zařízení je patrné na obrázku 4.15.

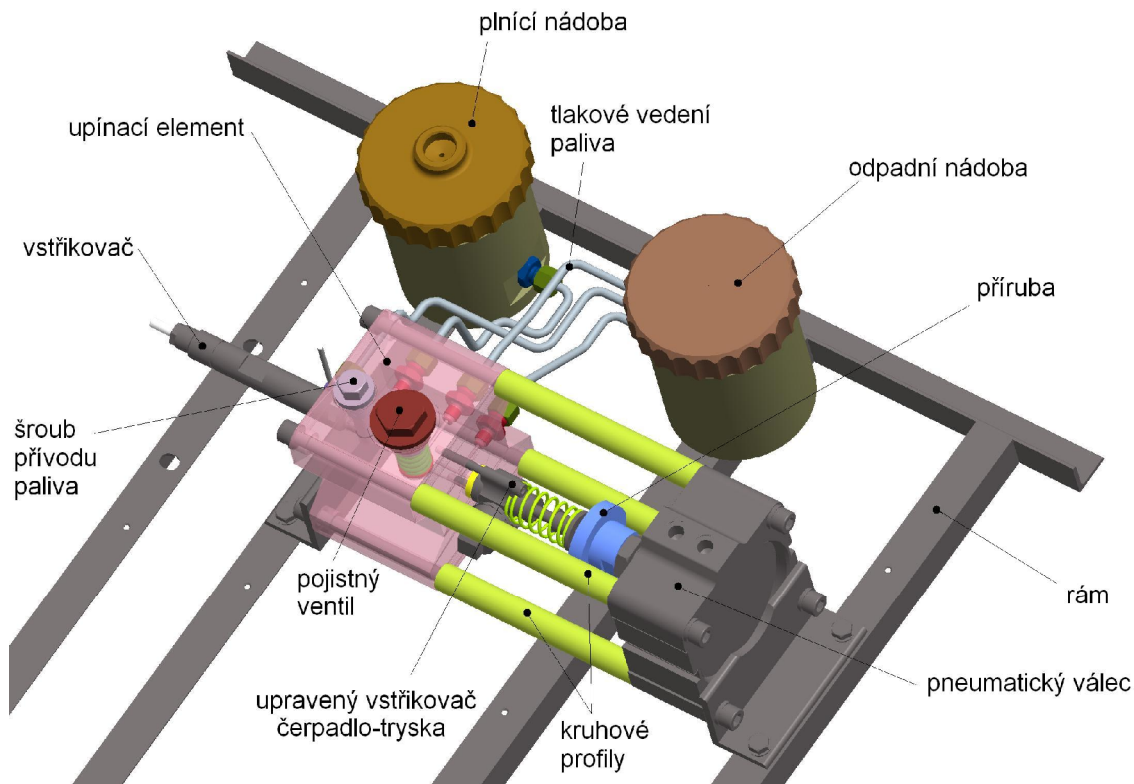


Obr. 4.15: Uspořádání vedení paliva do vstřikovacího zařízení

Obě nádoby jsou opatřeny výpustným šroubem, který je umístěn na spodní straně nádoby, a slouží k vypuštění již nepotřebného dávky paliva.

#### 4.3.4 Uspořádání palivové soustavy

Uspořádání jednotlivých komponentů systému je znázorněno na obrázku 4.16. Pneumatický válec je pevně spojen s upínacím elementem pomocí čtyř profilů kruhového průřezu, zajišťující vzájemnou tuhost celého systému (pevnostní výpočet je proveden v kapitole 4.3.4). Píst pneumatického válce je v ose pístu tlakového elementu upraveného vstřikovače čerpadlo-tryska. Jejich vzájemnou polohu (vzdálenost) lze nastavit pomocí příruby na pístnici pneumatického válce, která se pak dotáhne pomocí matky. Vstřikovač se snímačem zdvihu jehly je našroubován ze vstupní strany do upevňovacího elementu a na straně vstřikovací jehly je uchycen pomocí dvou šroubů do hlavy vstřikovací komory. K rámu vstřikovacího systému je pak tento celek připojen dvěma šrouby pomocí patek profilu L, které jsou v nabídce firmy Stránský a Petržík doporučovány pro toto provedení pneumatického válce. Palivové nádoby jsou přichyceny k rámu pomocí dvou šroubů a jsou s upínacím elementem propojeny tlakovými vedením zajišťující přívod nebo odvod stlačeného paliva.



Obr. 4.16: Uspořádání vedení paliva do vstřikovacího zařízení

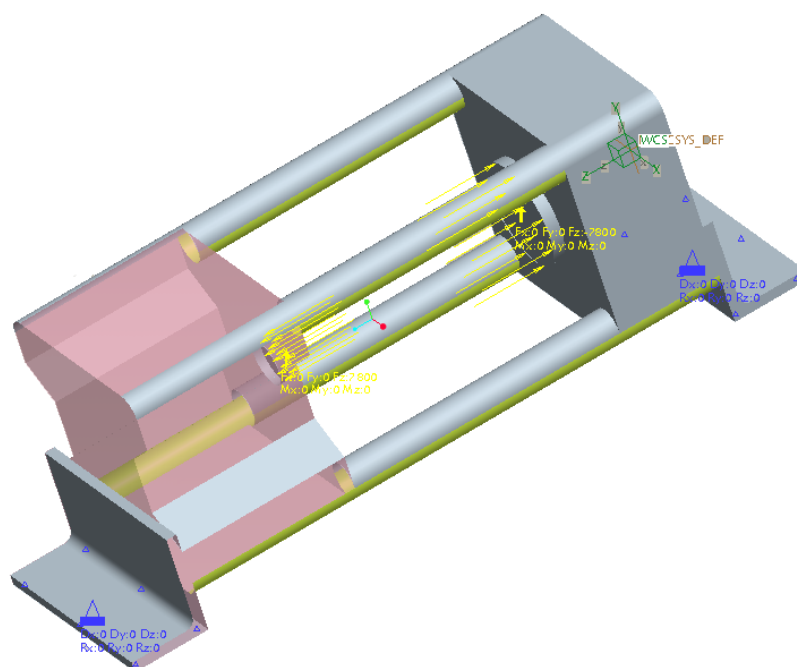


### 4.3.5 Pevnostní kontrola vstřikovacího zařízení

Pevnostní kontrola je provedena v software Pro/Mechanica pomocí metody konečných prvků (MKP). Výpočet je proveden na kontrolu tyčových profilů spojující pneumatický válec a upínací element.

#### 4.3.5.1 Zadání okrajových podmínek

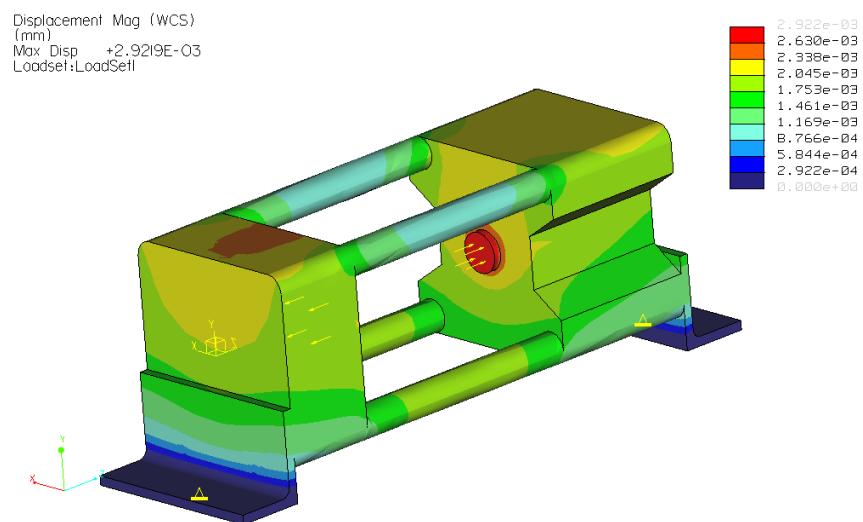
Na obrázku 4.17. je znázorněno zadání okrajových podmínek na vstřikovacím zařízení. V místě uchycení vstřikovacího zařízení k rámu systému je výpočtový model vetknut. V ose pneumatického válce a pístku upraveného vstřikovače čerpadlo-tryska je výpočtový model zatížen silou rovnající se maximálnímu přípustnému zatížení pneumatického válce 1 MPa.



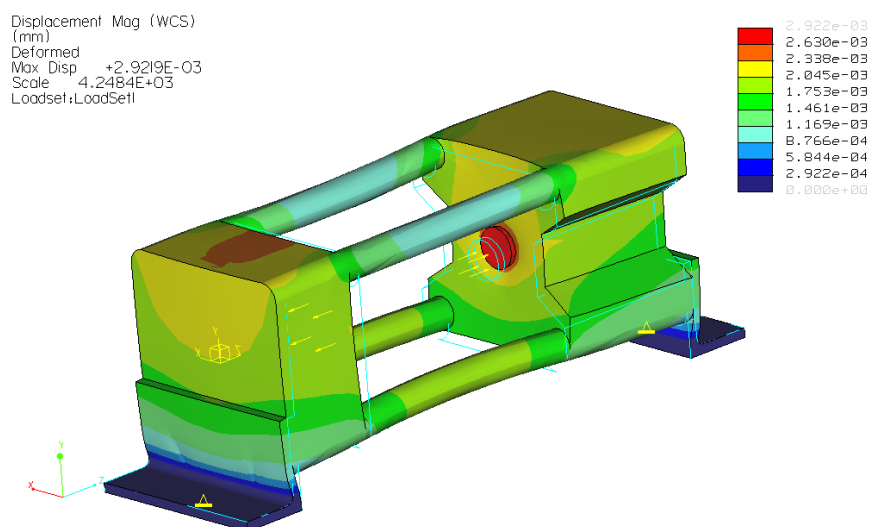
Obr. 4.17: Zadání okrajových podmínek pro pevnostní kontrolu

#### 4.3.5.2 Určení napětí a deformací

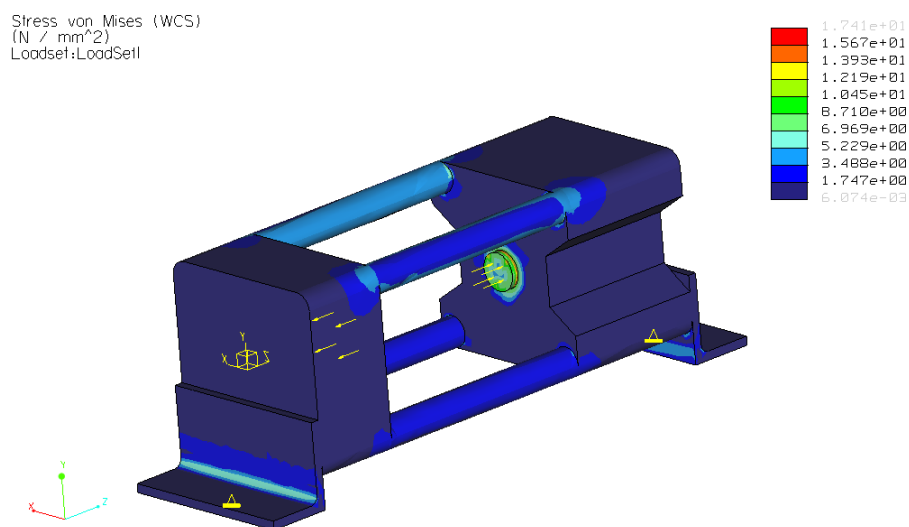
Obrázky 4.18, 4.19 a 4.20 ukazují spektrum deformací a napětí na vstřikovacím zařízení definované okrajovými podmínkami. Hodnoty redukovaného napětí jsou určeny dle pevnostní hypotézy HMM (Huber-Miseses-Henky) pro víceosou napjatost. Materiál kruhových profilů je volen s ohledem na velikost maximálního redukovaného napětí, které v součásti vzniká. Toto napětí lze porovnávat s mezí kluzu  $R_e$  voleného materiálu při určité míře bezpečnosti.



Obr. 4.18: Průběh deformací



Obr. 4.19: Průběh deformací (zobrazen tvar deformace)

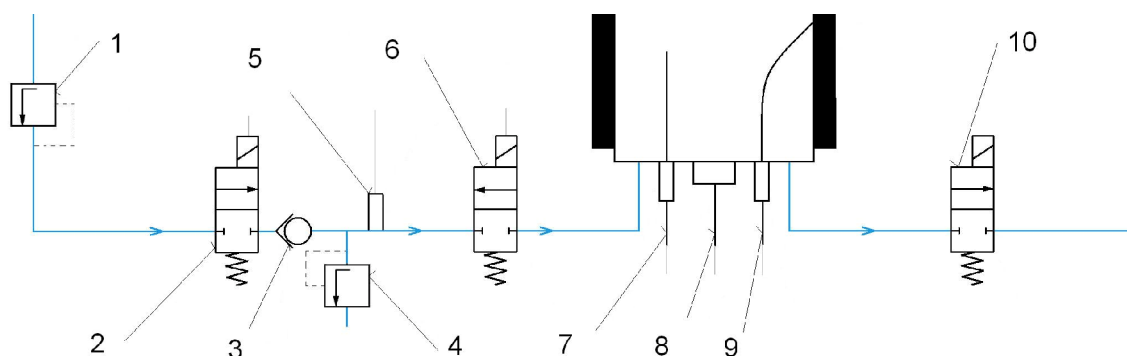


Obr. 4.20: Průběh napětí

## 4.4. Spalovací komora

### 4.4.1 Přívod vzduchu do spalovací komory

Přívod stlačeného vzduchu do spalovací komory vsřikovacího zařízení je (jak již bylo popsáno v předešlých kapitolách) zajištěn z tlakové lahve přes redukční ventil (GCE – poz.1) a soustavu elektromagnetických ventilů. Pro tento účel byly vybrány přímočinné elektromagnetické ventily pro vysoké tlaky a teploty 2/2 (Bürkert – poz.2,6,10). Maximální provozní teplota ventilů je 180°C. Odpouštění přebytečného stlačeného vzduchu ze spalovací komory je zajištěno pojišťovacím ventilem (MZ Liberec – poz.4). Tímto ventilem se nastavuje tlak ve spalovací komoře a jeho hodnota se může pohybovat v rozmezí tlaků 0,8-2,5 MPa. Tlak je měřen pomocí senzoru tlaku (BHV – poz.5). Aby nedocházelo ke zpětnému proudění vzduchu je mezi elektromagnetickými ventily umístěn zpětný ventil (MZ Liberec – poz.3). Provozní teplota pojistného ventilu je max. 50°C, vedení vzduchu do i z válce spalovací komory je provedeno pomocí měděných trubiček o průměru 6 mm, které zaručí ochlazení pracovní náplně tak, aby nedošlo k poškození připojených ventilů. Ve spalovací komoře jsou umístěny dva snímače teploty (ZPA Nová Paka – poz. 7,9). Jeden měří teplotu vzduchu ve spalovací komoře a druhý teplotu stěny spalovací komory. Tlak ve spalovací komoře se měří pomocí snímače tlaku (AVL – poz.8).



Obr. 4.21: Přívod vzduchu do spalovací komory

### 4.4.2 Ohřev vzduchu

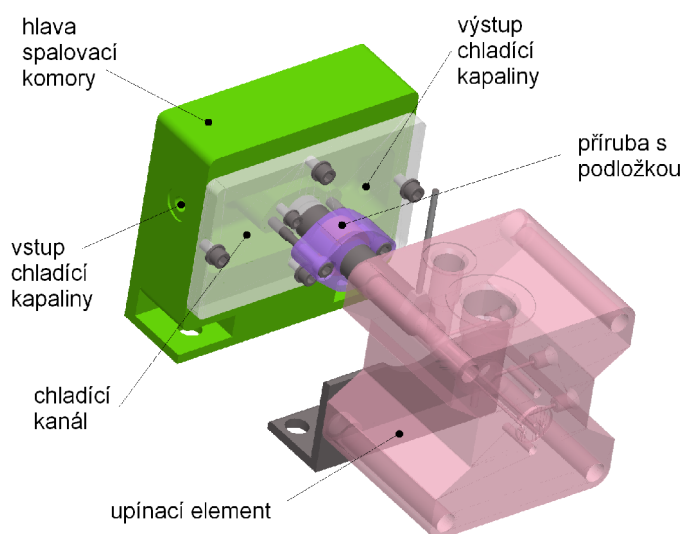
Ohřev vzduchu ve spalovací komoře je řešen pomocí kontaktního topného tělesa, které je umístěné na vnějším plášti spalovací komory. Umístění topného tělesa přímo do spalovací komory není z pohledu požadovaného zařízení vhodné (vstříknutá dávka paliva by byla vstřikována přímo na topné těleso), proto byla zvolena varianta umístění topného tělesa na povrch spalovací komory. Vzhledem ke specifickým

rozměrům a požadavkům na plněnou funkci není na trhu odpovídající topné těleso. Proto, ve spolupráci s firmou Backer Elektro CZ, bylo předběžně projednáno topné těleso vlastní konstrukce. Topné těleso má příkon 1200W a teplota na povrchu je 950°C. To plně dostačí k vytápění spalovací komory, kde by se teplota měla pohybovat kolem 500°C. Další možnou variantou firmy Backer Elektro CZ je umístění topného tělesa přímo do odlitku tělesa spalovací komory. Konečné provedení topného tělesa i s cenovou nabídkou nebylo uskutečněno, ale cena tohoto provedení na zakázku se podle vyjádření firmy Barker pohybuje kolem dvou tisíc korun. Regulace na požadovanou teplotu stlačeného vzduchu je prováděna pomocí dvou termočlánků (ZPA Nová Paka).

#### 4.4.3 Spalovací komora

K hlavě spalovací komory je připevněn vstřikovač se snímačem zdvihu jehly a vlastně tím nahrazuje hlavu válců jak je to u spalovacích motorů. Celý tento celek je pak připevněn k rámu. Vstřikovač je k hlavě připevněn pomocí příruby a podložky, neboť je již pevně přichycen k upevňovacímu elementu, a poloha jeho opěrných částí může být libovolná.

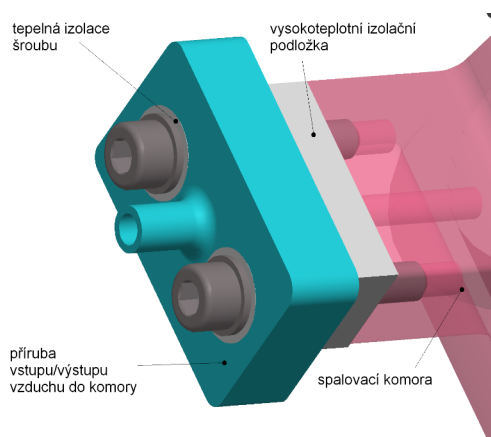
Aby nedošlo k poškození vstřikovače vlivem vysoké teploty od topného tělesa, je hlava vstřikovače vybavena chladicím kanálem, který zajišťuje odvod tepla z tělesa vstřikovače. Pro dobré víření chladicí kapaliny je vstup a výstup v hlavě komory navržen tak, že jejich vzájemná poloha není v rovině rámu. Konstrukční provedení uchycení vstřikovače do hlavy spalovací komory a chladicího kanálu je zobrazeno na obrázku 4.22.



Obr. 4.22: Upevnění vstřikovače

Spalovací komora je k hlavě připevněna pomocí čtyř šroubů. Její objem byl zvolen na  $0,4 \text{ dm}^3$ . Průměr válce byl zvolen obdobný, jako je průměr vrtání u spalovacího motoru využívající vstřikovač se snímačem jehly. U vznětového motoru 1,9/66kW SDI je průměr vrtání 79,5 mm. Pro toto zařízení je tedy navržen průměr vrtání 80 mm a hloubka spalovací komory 80 mm. Z rozměrů spalovací komory lze při zadání vstupních parametrů (teploty a tlaku spalovací komory), které jsou volně nastavitelné, určit maximální dávku paliva. Pro zvolené parametry ( $p_{\text{spal}} = 2 \text{ Mpa}$ ,  $T_{\text{spal}} = 723,15^\circ\text{K}$ ) je maximální dávka paliva (při uvažování stechiometrické směsi  $\lambda = 1$ ) 0,25 g. Vznětové motory pracují v režimu chudé směsi ( $\lambda = 1,3 - 2$ ), proto je hodnota maximální dávky pouze orientační.

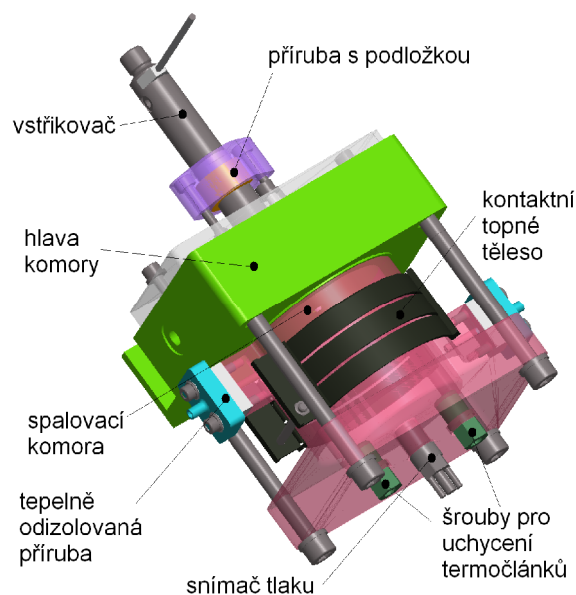
Přívod vzduchu do spalovací komory je řešen pomocí dvou měděných trubiček, které je potřeba tepelně odizolovat. A to v místě dotyku příruby s válcem. Šrouby, které spojují přírubu se spalovací komorou, je třeba také tepelně odizolovat. Pro toto řešení byla vybrána tuhá vysokoteplotní izolační deska (M.E.SCHUPP), vyrobená z polykrystalických hliníkových vláken a speciálních anorganických pojiv. Její výhodou je velmi dobrá opracovatelnost, velmi dobrá odolnost za vysokých teplot ( $1100^\circ\text{C}$ ) a nízká teplotní vodivost ( $0,2 \text{ W/m.K}$ ). Konstrukční provedení izolace příruby je zobrazeno na obrázku 4.23. Tloušťka izolační podložky mezi přírubou a spalovacím válcem je 10 mm. Tato izolace se také dá využít ke kompletnímu zaizolování spalovací komory, aby nedocházelo k velkým únikům tepla do okolí.



Obr. 4.23: Tepelná izolace vstupu a výstupu vzduchu

Vstup a výstup vzduchu do komory je řešen obdobně jako chladicí systém, aby docházelo k lepšímu propláchnutí spalovací komory.

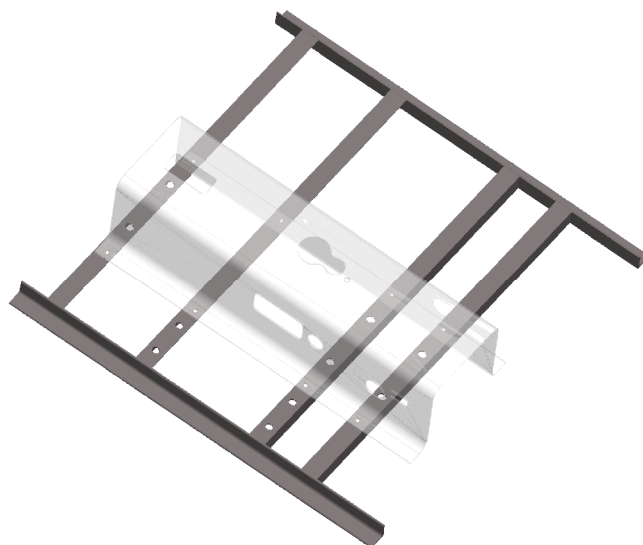
K tělesu je také připevněn snímač tlaku a dva termočlánky, měřící teplotu stěny spalovací komory a teplotu vzduchu uvnitř komory. Celé konstrukční provedení spalovací komory připevněné na spalovací hlavě je zobrazeno na obrázku 4.24.



Obr. 4.24: Konstrukční provedení spalovací komory

#### 4.5. Rám měřicího zařízení

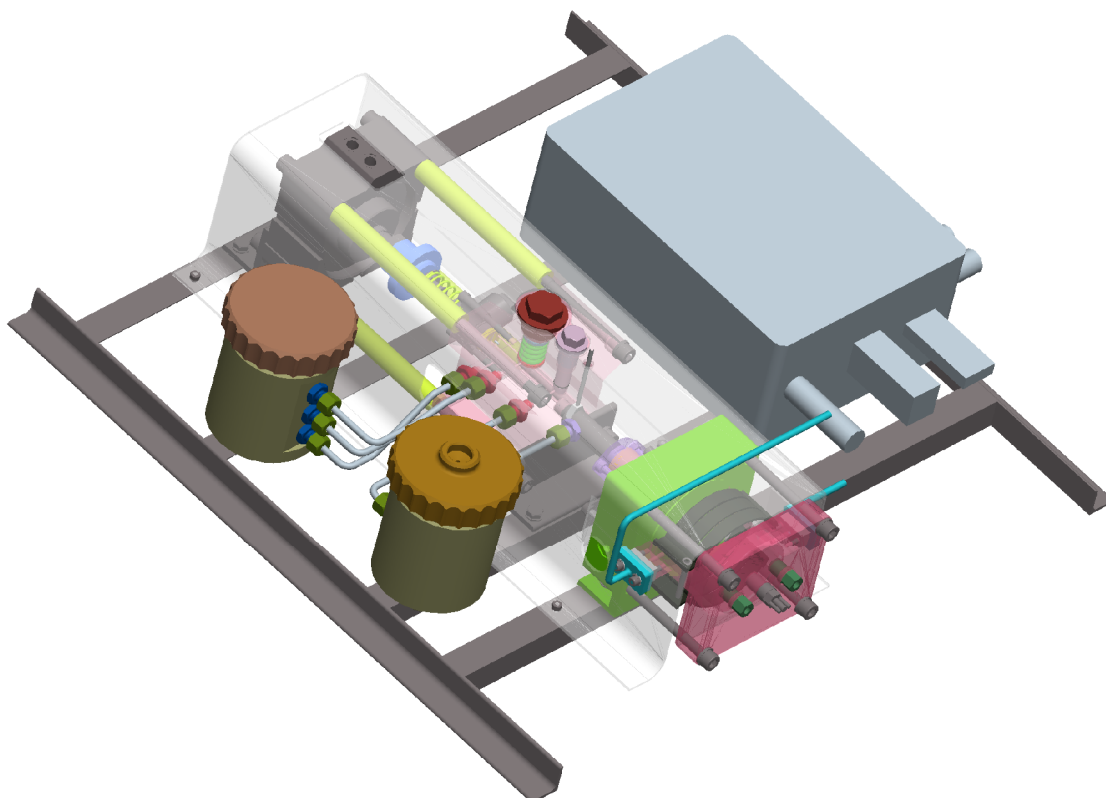
Veškeré výše uvedené komponenty měřicího zařízení jsou uchyceny k rámu, který je sestaven z tyčí rovnoramenného L průřezu o rozměrech 30 x 30. Rám je sestaven ze dvou nosných a čtyřech upevňovacích tyčí. K rámu vstřikovacího zařízení je připevněna řídicí jednotka navržená na Fakultě mechatroniky a mezioborových inženýrských studií zdejší univerzity. Její provedení je zobrazeno v příloze této diplomové práce. Tyče jsou vzájemně svařeny. Vzhledem k vysokým tlakům vstřikovaného paliva je celé měřicí zařízení z bezpečnostního důvodu opatřeno krytem s otvory pro vstup a výstup vedení paliva a měřicího příslušenství, který je připevněn k rámu.



Obr. 4.25: Sestava vstřikovacího zařízení

## 5. Návrh laboratorního zařízení pomocí softwaru

Zařízení je navrženo pomocí programu ProEngineer. Barevné provedení jednotlivých komponent zařízení je navrženo tak, že díly, které jsou pořízené od externích dodavatelů (vstřikovače, snímače, ventily, pneumatický válec, rámové profily, spojovací prvky) jsou znázorněny šedivou barvou a prvky navržené v rámci této diplomové práce jsou zobrazeny barevnou paletou tak, aby došlo k jejich vzájemnému rozlišení. Na obrázku 5.1 je zobrazen pouze izometrický pohled celé sestavy, ostatní pohledy jsou zobrazeny v příloze této diplomové práce.



Obr. 5.1: Sestava vstřikovacího zařízení

## 6. Způsob vyhodnocení cetanového čísla

Vyhodnocení měřené dávky paliva se provádí pomocí dvou parametrů, které vyhodnocuje software měřícího zařízení. Popis je přiložen v příloze této diplomové práce a byl navržen fakultou mechatroniky a mezioborových inženýrských studií zdejší univerzity. Zaznamenává se průběh zdvihu jehly a průběh nárůstu tlaku ve spalovací komoře. Na základě těchto dvou parametrů se stanoví doba průtahu vznícení, ze které se vypočítá cetanové číslo. Vztahy uvedené v kapitole 3.5 jsou stanoveny pro jednotlivá

měřicí zařízení. Konkrétní vztah pro toto zařízení je nejprve nutné určit z měření vzorků paliva se známým cetanovým číslem.

## 7. Seznam použitých komponentů pro návrh měřícího zařízení

- 1) Vstřikovač čerpadlo-tryska  
BOSCH  
Typ: 03G 103 073 G
- 2) Vstřikovač se snímačem zdvihu jehly  
BOSCH  
Typ: 038 130 201 S
- 3) Pneumatický válec jednočinný s krátkým zdvihem + upínací patky  
Stránský s Petržík, s.r.o.  
Typ: 12505 10 00 100  
[www.stranskyapetrzik.cz](http://www.stranskyapetrzik.cz)
- 4) Elektromagnetický ventil 3/2 a 2/2 pro plyny a kapaliny  
Bürkert Contromatic GmbH  
Typ: 0340 (3/2)  
Typ: 0255 (2/2) 3 kusy  
[www.burkert.cz](http://www.burkert.cz)
- 5) Pojistný ventil a zpětný ventil  
MZ Liberec, a.s.  
Typ: PV.15P – pojistný ventil  
Typ: ZV.25 – zpětný ventil  
[www.mzliberec.cz](http://www.mzliberec.cz)
- 6) Senzor tlaku  
BHV senzory, s.r.o.  
Typ: DMP 331  
[www.bhvsenzory.cz](http://www.bhvsenzory.cz)
- 7) Snímač teploty termoelektrický  
ZPA Nová Paka, a.s.  
Typ: 312 C 15 K J I 12 G 0 / 100 / 1000  
[www.zpanp.cz](http://www.zpanp.cz)
- 8) Snímač tlaku ve spalovací komoře  
AVL LIST GMBH  
Typ: QC43D  
[www.avl.com](http://www.avl.com)
- 9) Vysokoteplotní izolace  
M.E.SCHUP (Desko a.s.)  
Typ: UltraBoard  
[www.desko.cz](http://www.desko.cz)



## 8. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo navrhnout mechanickou část zařízení pro měření vznětlivosti paliv a vyhotovit potřebnou výkresovou dokumentaci pro tvorbu funkčního vzorku zařízení.

Největším úskalím této práce bylo navrhnout vhodný vstřikovací systém. Od původního plánu, použít vstřikovač čerpadlo-tryska, se tento systém rozvinul na velmi komplikovaný aparát, který ovšem plní všechny požadované funkce. Možnost volby množství a tlaku vstřikované dávky měřeného paliva. Konstrukční řešení vstřikovacího zařízení vycházelo z dostupnosti jednotlivých vstřikovacích komponentů (vstřikovač čerpadlo-tryska a vstřikovač se snímačem zdvihu jehly). Možnou variantou v dalším vývoji tohoto laboratorního zařízení by bylo využít a přepracovat vstřikovací systém tzv. společné lišty (Common-Rail). Tím by mohlo dojít do jisté míry k zjednodušení celého systému.

V příloze této diplomové práce je technická dokumentace obsahující 25 detailních výkresů jednotlivých komponentů. Součástí hlavní sestavy (výkres: KVM-DP-483-100) není proplachovací válec. Je přiložen jako samostatný výkres (KVM-DP-483-150).

Laboratorní zařízení pracuje s velmi vysokými tlaky měřeného paliva a vysokou teplotou, je tedy nutné dbát na bezpečnost práce.

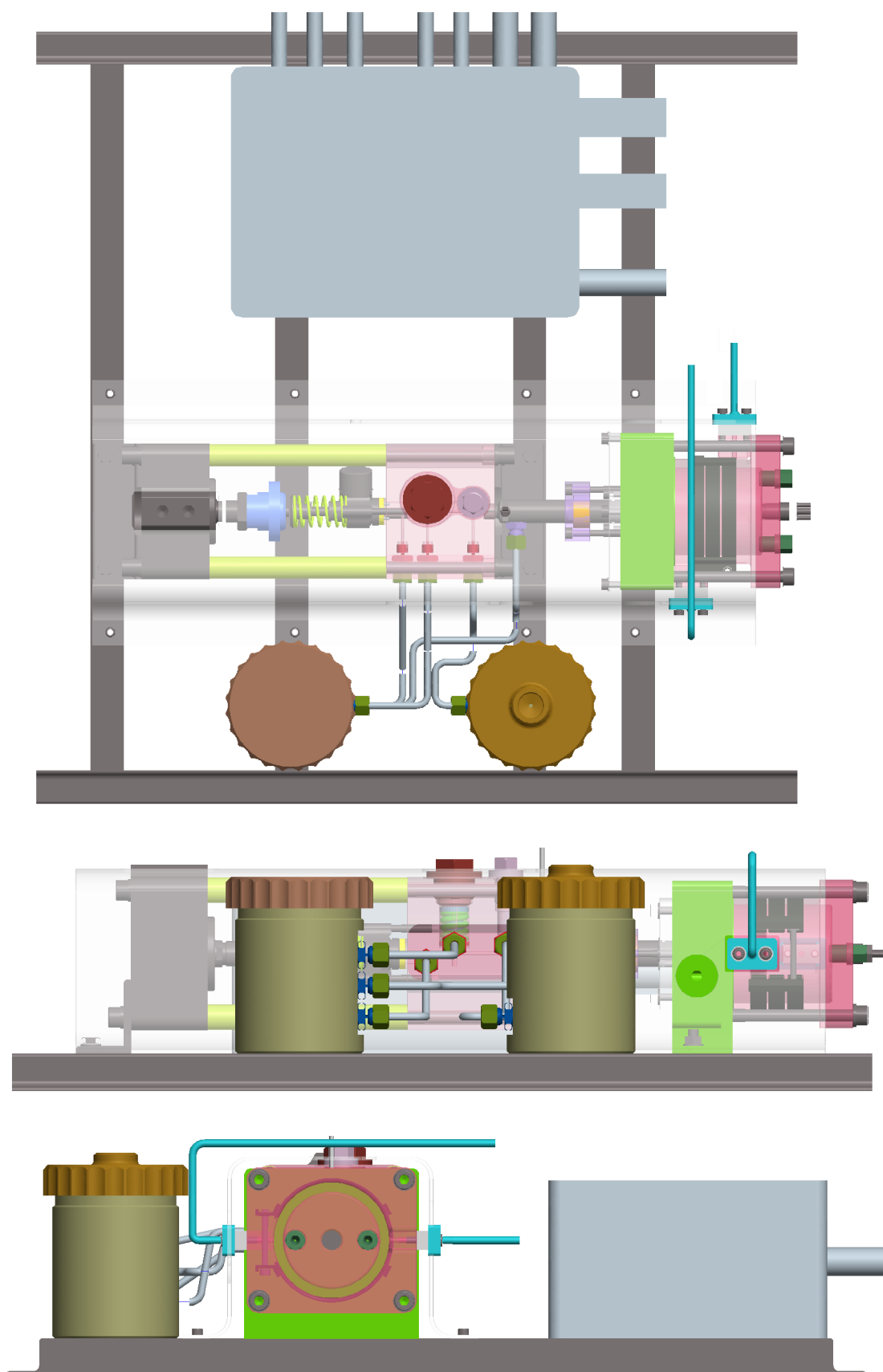
## **Literatura:**

- [ 1 ] Matějovský, V.: Automobilová paliva. Grada 2005.
- [ 2 ] Alaxin, P.: Nové směry v stanovení cetanového čísla. Mezinárodní sympóziu Motorové paliva 2004. Slovnaft Bratislava, Vyhne 2004.
- [ 3 ] Beroun, S., Scholz, C., Blažek, J.: Parametry hoření motorových paliv ve válci pístových spalovacích motorů. Mezinárodní sympóziu Motorové paliva 2002. Slovnaft Bratislava, Vyhne 2002.
- [ 4 ] Beroun, S., Scholz, C.: Základy teorie vozidel a pístových spalovacích motorů, Liberec 1999
- [ 5 ] Macek, J., Suk, B.: Spalovací motory I. Skripta ČVUT Praha 1993
- [ 6 ] Vlk, F. : Paliva a maziva motorových vozidel, Brno 2006
- [ 7 ] Skrbek, B.: Materiály pro konstrukční aplikace, Liberec 2002
- [ 8 ] Beroun, S., Cerha, J.: Příslušenství pohonných jednotek, Liberec 1989
- [ 9 ] IQT<sup>TM</sup>: Ignition quality Tester for diesel fuel
- [ 10 ] studijní podklady Škoda-Auto a.s.
- [ 11 ] internetové stránky: [www.stranskyapetrzik.cz](http://www.stranskyapetrzik.cz); [www.burkert.cz](http://www.burkert.cz); [www.mzliberec.cz](http://www.mzliberec.cz); [www.bhvsenzory.cz](http://www.bhvsenzory.cz); [www.zpanp.cz](http://www.zpanp.cz); [www.avl.com](http://www.avl.com); [www.desko.cz](http://www.desko.cz)

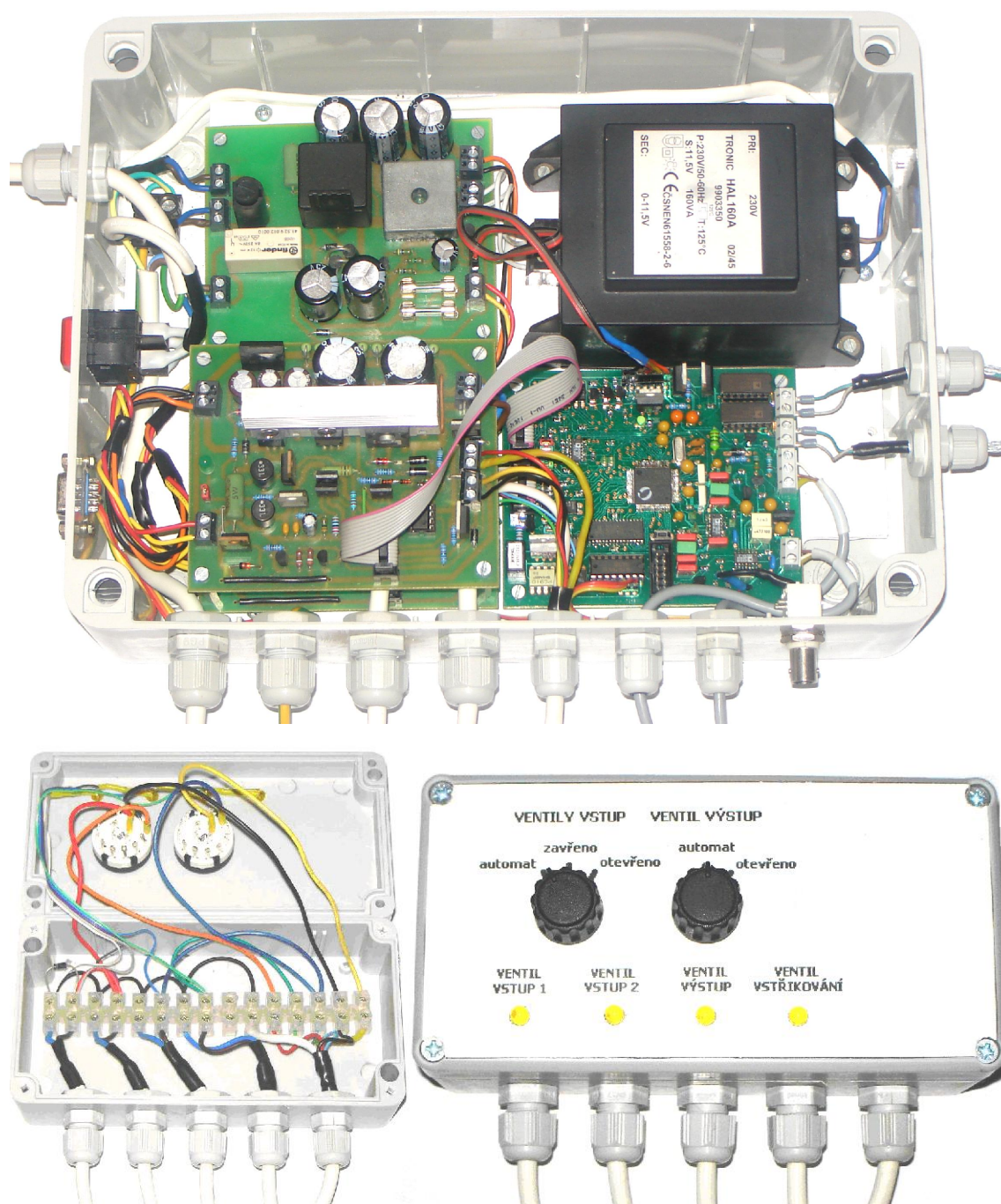
## **Seznam příloh:**

- Příloha 1 – Další pohledy navrhovaného měřicího zařízení
- Příloha 2 – Návrh řídicí jednotky měřicího zařízení
- Příloha 3 – Popis programu
- Příloha 4 – Výkresová dokumentace

**Příloha 1 – Další pohledy výsledného návrhu měřicího zařízení**



## Příloha 2 – Řídicí jednotka měřicího zařízení



### **Příloha 3 – Popis programu měřícího zařízení**

Pro komunikaci řídicí jednotky s počítačem byl vytvořen program. Hlavní účel programu je zobrazit změřený průběh zdvihu jehly vstřikovače a tlaku ve spalovací komoře, stanovit dobu průtahu vznícení a vypočítat hodnotu cetanového čísla. Program umožňuje zobrazit další měřené veličiny a pomocí něj se také zadávají některé údaje potřebné pro změření cetanového čísla. Komunikace počítače s řídicí jednotkou probíhá přes sériové rozhraní RS232.

Pro přehledné zobrazení jednotlivých údajů je program rozdělen do čtyř panelů. Z hlediska použití jednotky (měření cetanového čísla) je nejdůležitější panel „Hlavní“. Po připojení řídicí jednotky k počítači a její zapnutí se zobrazí v horní části tohoto panelu nápis „Jednotka připojena“. Nezáleží na pořadí spuštění řídicí jednotky a programu. Dále se čtyřikrát za sekundu periodicky zobrazují aktuální změřené údaje teploty vzduchu ve spalovací komoře, teploty stěny válce spalovací komory a tlaku vzduchu v přívodním potrubí spalovací komory. Před měřením cetanového čísla musejí být nastaveny údaje pro vstřik paliva umístěné na panelu „Nastavení a data“ (popsáno níže). Dále se musí nastavit konečná teplota vzduchu pro měření, požadovaná teplota stěny komory a délka měření průběhu tlaku a zdvihu jehly. Po nastavení těchto údajů se spustí měření cetanového čísla stisknutím tlačítka START. Řídicí jednotka pročistí spalovací komoru vzduchem, poté se komora stlačeným vzduchem naplní a zapne se topné těleso pro ohřev vzduchu. Tím začne teplota vzduchu ve spalovací komoře stoupat a když dosáhne předem nastavené teploty pro měření, dojde k uzavření komory, ke vstříknutí paliva a změření průběhu zdvihu jehly vstřikovače a tlaku ve spalovací komoře. Naměřené údaje se krátce poté zobrazí v grafu (rovněž umístěn na panelu „Hlavní“) a stanoví se z nich doba průtahu vznícení paliva. Z této doby průtahu se určí výsledná hodnota cetanového čísla, která se zobrazí v dolní části panelu „Hlavní“. Měření další hodnoty cetanového čísla se spustí opět stisknutím tlačítka START. Po stisknutí tohoto tlačítka se změní v tlačítko STOP a lze jím kdykoliv měření ukončit. Měření se rovněž ukončí, dojde-li k přerušení komunikace mezi řídicí jednotkou a počítačem.

V panelu „Nastavení a data“ se nastavují především časové údaje pro vstřikování, konstanty čidla tlaku a čidla zdvihu jehly. Lze tam také měnit časovou konstantu obvodů pro měření piezoelektrickým čidlem a zapínat automatickou

kompenzaci těchto obvodů. Na tomto panelu se vybírá komunikační port a zobrazují se údaje o délce provozu jednotky.

V panelech „Grafy1“ a „Grafy2“ jsou zobrazeny časové průběhy veličin změřených řídicí jednotkou. Perioda měření je 0,25 s.

V panelu „Grafy1“ jde o veličiny:

- hodnota převodníku zdvihu jehly vstřikovače
- hodnota převodníku piezoelektrického snímače tlaku
- tlak v přívodním potrubí spalovací komory
- teplota vzduchu ve spalovací komoře
- teplota stěny spalovací komory

V panelu „Grafy2“ jde o veličiny:

- napájecí napětí digitální části jednotky 3,3 V
- napájecí napětí analogové části jednotky 3,3 V
- referenční napětí jednotky 2,2 V
- napětí stabilizované sítě 12 V
- napětí nestabilizované sítě 15 V
- teplota mikrokontroléru